بررسی اثر نانو ذرات کبالت بر چسبندگی فصل مشترک لعاب– فلز

فاطمه برخورداریان[1]، مجید جعفری[2]، احمد منشی[2]

[1] دانشجو دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر نجف آباد

[2] عضو هیأت علمی گروه مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر نجف آباد



مهندس فاطمه برخورداریان مولف اصلی این مقاله، دانشجوی کارشناسی ارشد سرامیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد می‌باشند.

f_barkhordariyan@yahoo.com

چکیده: در این پژوهش در جهت افزایش چسبندگی لایه لعاب به فلز با استفاده از روش آبکاری الکتریکی بر روی فلز پایه، لایه‌ی نازکی در حدود نانو ذرات کبالت تشکیل داده شد و با تغییر پارامتر زمان نسبت به تغییر ضخامت به‌وجود آمده به‌عنوان لایه واسطه فلز به لعاب اقدام شد. پس از اعمال پوشش نانو ذرات کبالت، لعاب در فرآیند پخت در دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد روی فلز تشکیل شد و پارامترهای فیزیکی نظیر آزمایش ضربه جهت بررسی میزان چسبندگی انجام شد. همچنین نانو ذرات کبالت و مورفولوژی آن به‌عنوان لایه واسطه توسط SEM و EDS مورد بررسی قرار گرفت. بررسی میکروسکوپی توسط SEM نشان داد که رشد مناطقی اشباع از کبالت به صورت شاخه‌ای و شبنم گونه در فصل مشترک و در محیط شیشه (لعاب) رشد کرده است. وجود ساختار شاخه‌ای که با رشد ساختار اشباع از کبالت در لعاب ایجاد شده باعث افزایش چشمگیر استحکام و چسبندگی لعاب به فلز شده است و با افزایش زمان پوشش‌دهی عیوب سطحی و ظاهری در لعاب نیز کمتر مشاهده شده است.

کلمات کلیدی: نانو ذرات کبالت، آبکاری الکتریکی، لعاب، فصل مشترک، چسبندگی.

۱- مقدمه

لعاب، به جامدی شیشه‌گون که از ذوب یا گداختن مخلوطی از چندین ماده معدنی به‌دست می‌آید، اطلاق می‌شود. از نظر تاریخی برای اولین بار لعاب به منظور پوشش دادن فلزات طلا، نقره و مس مورد استفاده واقع شد. لعاب تحت شرایط مطلوب پخت با فلز پایه ترکیبی حقیقی ایجاد می‌کند و به گونه‌ای تفکیک ناپذیر به فلز می‌چسبد، در نتیجه امکان خوردگی فلز تحت هر شرایط محیطی به حداقل ممکن می‌رسد. پوشش لعاب به صورت دو لایه صورت می‌گیرد. لایه اولی که به آستری معروف است و خاصیت چسبندگی به بدنه فلزی را دارد و لایه دوم (لایه رویه)، که پوشش نهایی است، علاوه بر زیبا سازی ظاهر قطعه، خاصیت حفاظتی را نیز دارد.

لعاب‌ها در حرارت بین ۷۷۰ تا ۸۴۰ درجه سانتیگراد در کوره‌های مخصوص پخت در مدت زمان بین ۵ تا ۱۲ دقیقه به کمک یک عامل پیوندی به نام اکسید کبالت یا اکسید نیکل به فلز زیری می‌چسبند وجود مقادیر ناچیز اکسید کبالت، چیزی حدود ۰/۱۵– ۰/۵درصد در لعاب باعث چسبندگی آن به فلز بعد از عمل پخت می‌شود. تاثیر هیچ ماده‌ی دیگری به اندازه اکسید کبالت نمی‌توانند اتصال مناسبی با فلز ایجاد نماید. اکسید نیکل در صورتی که به ترکیب لعاب اضافه شود، تاثیر ناچیزی از ایجاد پیوند با فلز خواهد داشت. هنگامی که در سطح مشترک بین لعاب و فلزات آهنی متمرکز شود، اثر بسیار سودمندی روی چسبندگی خواهد گذاشت.[۱و۲]

تاکنون نظریه‌های مختلفی درباره علت چسبندگی لعاب به فلز بیان گردیده است. از قبیل: نظریه الکترولیت، نظریه لایه اکسید، نظریه احیای هیدروژن، نظریه مکانیکی، نظریه دندریت و نظریه جذب اتمی اثر نانو ذرات در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی لعاب بسیار با اهمیت است. در این ارتباط از نانو ذرات کبالت در جهت بهبود خواص استفاده شد. بنابراین برای نانو ذرات تعریف متعددی ارائه شده است اما به طور خاص نانو ذرات دارای قطری بین ۱ تا ۲۵۰ نانومترند. به عبارتی آن‌ها در حوزه‌ای مابین اثرات کوانتومی اتم‌ها، مولکول‌ها و خواص مواد توده ای قرار می‌گیرند.[۲۳]

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1392.9.4.2.3]

روش‌های مختلفی برای سنتز و پوشش دهی نانو کبالت وجود دارد از قبیل: سنتز نانو ذرات کبالت در سیستم قلیایی هیدرازین اتانول (EHAS) در دمای اتاق، سنتز نانو ذرات اکسید کبالت با ناخالصی مس به روش سل-ژل، سنتز نانو ذرات کبالت به وسیله تجزیه حرارتی $Co(CH_3COO)_2$، آبکاری کبالت روی فولاد ضدزنگ در دمای بالا.[۱۷،۱۰،۹و۱۸]

تحقیقات گسترده‌ای توسط خانم سمیعی و همکارانش[1] در این رابطه تحت عنواین ریزساختار و چسبندگی در لعاب‌های کبالت دار و بدون کبالت بر روی فولاد کم کربن و بررسی سازکارهای خوردگی پوشش‌های شیشه‌ای بر روی فولاد انجام شد که لعاب کبالت دار و بدون کبالت مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که لعاب بدون کبالت مشکلات بیشتری به لحاظ چسبندگی و بی عیب شدن نسبت به لعاب کبالت دار نشان می‌دهد و لعاب کبالت دار چسبندگی بالاتری دارد. همچنین در این رابطه شنگ شیو و همکارانش[2] نیز در سال ۱۹۹۷ مقاله ای تحت عنوان ریزساختار و چسبندگی لعاب پرسلان بر روی فولاد کم کربن گزارش دادند که در این مقاله چسبندگی بین لعاب و فلز را در سه نوع نمونه، (۱) با کبالت غوطه ور شده، (۲) با نیکل غوطه ور شده و (۳) نمونه‌ای بدون غوطه وری فلز، و چسبندگی را مورد بررسی قرار دادند[۲۰،۱۹و۲۲].

در ادامه در سال ۲۰۰۸ آقای وانگ[3] مقاله‌ای تحت عنوان اثر تبلور بر پوشش سخت لعاب با زیر لایه‌ی فولاد، نمونه‌های لعاب شده را در کوره از دمای ۸۰۰ تا ۹۴۰ درجه سانتیگراد برای زمان‌های مختلف ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه قرار داده شدند. نتایج بدین شرح بوده که زمان تبلور که افزایش می‌یابد، فصل مشترک فولاد و لعاب زبر می‌شود. فاکتور چسبندگی، ریز سختی و انرژی ضربه‌ای افزایش می‌یابند [۲].

پوشاندن یک جسم با یک لایه نازک از یک فلز با کمک یک سلول الکترولیتی آبکاری نامیده می‌شود. الکترولیت مورد استفاده برای آبکاری باید دارای یون‌های فلزی باشد که قرار است لایه نازکی از آن روی جسم قرار بگیرند. فرآیند آبکاری معمولا با فلزات گرانبها چون طلا و نقره و کروم جهت افزایش ارزش و خواص فلزات پایه مانند آهن و مس انجام می‌گیرد[۱۱و۱۲].

کبالت در فصل مشترک لعاب و فلز استفاده شود و سعی برآن داشته که با ایجاد چسبندگی بیشتر از ایجاد عیوب پارگی و پریدگی لعاب جلوگیری کرد وخوردگی فلزات را کاهش داد.

در این راستا نانو ذرات کبالت با استفاده از روش آبکاری الکتریکی بر روی فولاد ST-12 پوشش داده و سپس لعاب آماده شده را بر روی سطح ایجاد و توسط دستگاه‌های الگوی پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز EDS مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین در انتها تست چسبندگی گرفته و با نمونه‌ای که فاقد پوشش نانو کبالت بود، مقایسه و نتایج بررسی شد.

طبق بررسی‌های انجام شده و تست ضربه این نتیجه حاصل شد که با افزایش زمان پوشش‌دهی چسبندگی افزایش یافته و با بررسی دقیق فصل مشترک متوجه رشد مناطقی اشباع از کبالت به صورت شاخه‌ای و شبنم مانند که باعث افزایش چسبندگی و استحکام شده است. همچنین با افزایش زمان پوشش‌دهی استحکام و چسبندگی بهبود یافته است.

۲- فعالیت‌های تجربی

پس از پوشش دهی ورق فولاد ST-12 از طریق روش آبکاری الکتریکی که بدین ترتیب انجام شدکه ۳۳گرم از $CoCl_2{\cdot}6H_2O$ و ۱۳۷ گرم از $CoSO_4{\cdot}7H_2O$ را در ۵۰۰گرم آب مقطر تجزیه کرده و سپس ۶/۲ گرم از H_3BO_3 به آن اضافه کرده و هم زده تا کاملا حل شوند. که محلول بدست آمده محلول الکترولیت را تشکیل داده و سپس در ادامه ورق‌های فلزی را در اتانول و آب مقطر شسته که ورق فلزی کاتد شده و الکترود گرافیت الکترود آند شده و جریان $0/088\ A.cm^{-2}$ و در زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه پوشش دهی را انجام داده که یک لایه براق خاکستری به ضخامت نانومتر روی آن تشکیل شده است.

و سپس در ادامه از لعاب تجاری ساخت کشور ترکیه استفاده کرده و برای اعمال لعاب از طریق اسپری و پیستوله اقدام کرده و به اندازه ۳۰ درصد وزن لعاب، آب اضافه نموده و بعد از هم زدن، لعاب را با ضخامت یکسان و مناسب اسپری شد و همچنین به نمونه‌ها اجازه داده شد تا مقداری در هوای آزاد خشک شوند و سپس بعد از خشک شدن نمونه برای پخت به کوره منتقل شدند، پخت بر روی پایه‌ای از جنس سرامیک دیرگداز درون کوره‌ی الکتریکی صورت می‌گرفت و در این مرحله دمای کوره ۸۵۰ درجه

[1] Samiei et al
[2] Shive et al
[3] Wang

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1392.9.4.2.3]

سانتیگراد و با سرعت ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه بود.
از نمونه‌ها تست ضربه گرفته شد و سپس از فصل مشترک نمونه‌ها مقطع برش داده شده و مانت شدند، بعد از عملیات آماده سازی (سایش و پولیش) سطح مقطع نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) و طیف سنجی تفکیک انرژی (EDS) بررسی شدند. و انتها توسط تست ضربه چسبندگی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند.

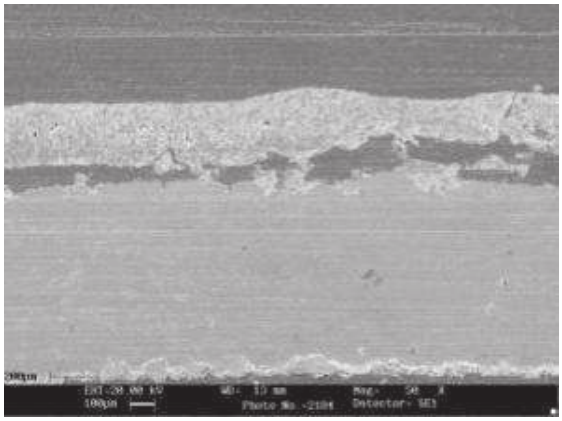
۳- نتایج و بحث

۳-۱-میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف سنجی تفکیک انرژی

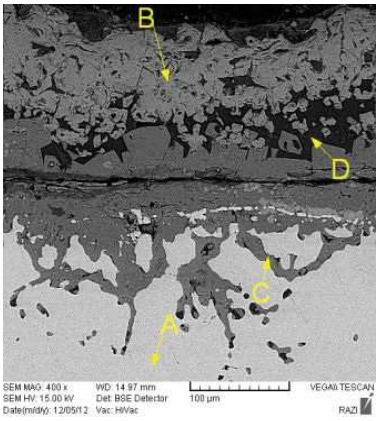
نمونه‌هایی که از کوره بیرون آمده‌اند را مانت کرده و سپس بعد از انجام دقیق مراحل پولیش از فصل مشترک نمونه‌ها SEM و EDS گرفته شد. که در ابتدا تصاویر مربوط به میکروسکوپ روبشی را آورده و سپس در ادامه تصاویر مربوط به طیف سنجی تفکیک انرژی بررسی شد.

الف- نمونه‌ی بدون پوشش آبکاری الکتریکی

در تصاویر (۱) و (۳) آنچه راکه به طور وضوح می‌توان دید عدم چسبندگی در فصل مشترک نمونه‌ای که بدون پوشش آبکاری الکتریکی بوده و نمونه‌ای که همراه با پوشش آبکاری الکتریکی بوده دارای چسبندگی فوق‌العاده زیادی در فصل مشترک است.

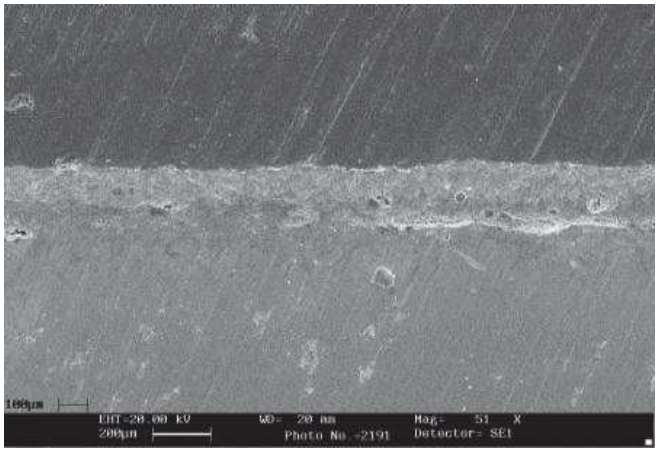


شکل ۱- تصویر میکروسکوپ روبشی بدون پوشش آبکاری الکتریکی از فصل مشترک لعاب-فلز با خط مدرج ۲۰۰ میکرومتر



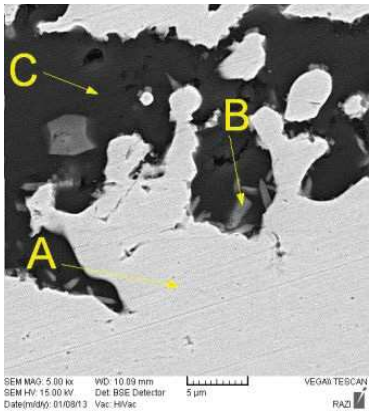
شکل ۲- تصویر میکروسکوپ روبشی بدون پوشش آبکاری الکتریکی از فصل مشترک لعاب-فلزباخط مدرج ۱۰۰میکرومتر

ب- نمونه‌ای با ۵ دقیقه پوشش آبکاری الکتریکی



شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی در زمان ۵ دقیقه پوشش آبکاری الکتریکی از فصل مشترک لعاب- فلز با خط مدرج ۱۰۰ میکرومتر

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1392.9.4.2.3]

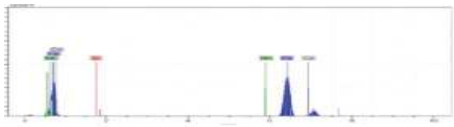


ب

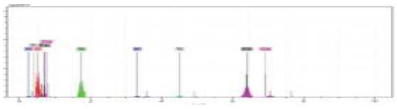


الف

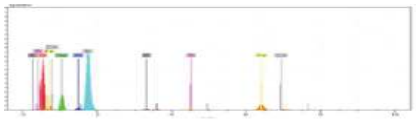
شکل ۴- تصویر میکروسکوپ روبشی در زمان ۵ دقیقه از فصل مشترک لعاب- فلز (الف) با خط مدرج ۲۰ میکرومتر، (ب) با خط مدرج ۵ میکرومتر



شکل ۵- آنالیز EDS مربوط به نقطه‌ی A



شکل ۶- آنالیز EDS مربوط به نقطه‌ی B



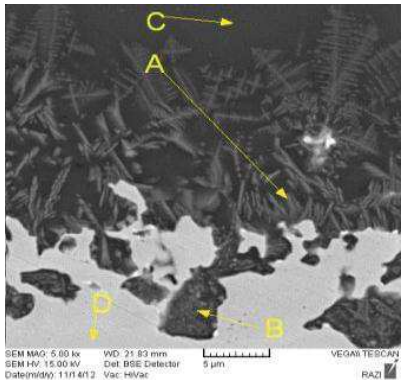
شکل ۷- آنالیز EDS مربوط به نقطه‌ی C

در جدول زیر نتایج آنالیز EDS نقاط مختلف نمونه‌ی مربوطه را بر حسب درصد وزنی آورده. جدول(۱)

جدول ۱- نتایج آنالیز EDS نقاط مختلف

عنصر / نقطه آزمایش	Fe	Mn	Si	O	Al	K	Ti	Na	Co
A	95/40	0/18	0/08	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00	1/74
B	38/40	0/00	4/07	30/34	0/00	1/61	3/20	0/00	0/02
C	13/67	0/00	21/19	51/48	0/94	0/72	1/53	7/18	0/13

ج- نمونه‌ای با ۱۰ دقیقه پوشش آبکاری الکتریکی



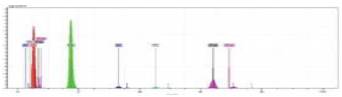
ب



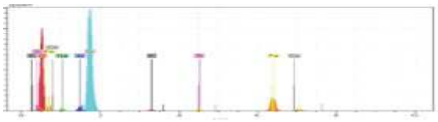
الف

شکل ۸- تصویر میکروسکوپ روبشی در زمان ۱۰ دقیقه از فصل مشترک لعاب- فلز (الف) با خط مدرج ۲۰ میکرومتر، (ب) باخط مدرج ۵ میکرومتر

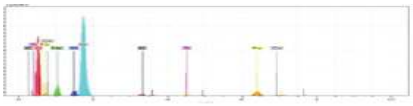
[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1392.9.4.2.3]



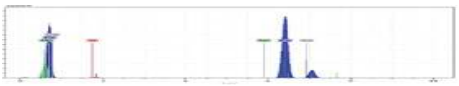
شکل ۹- آنالیز EDS مربوط به نقطه‌ی A



شکل ۱۰-آنالیز EDS مربوط به نقطه‌ی B



شکل ۱۱-آنالیز EDS مربوط به نقطه‌ی C



شکل ۱۲- آنالیز EDS مربوط به نقطه‌ی D

در جدول زیر نتایج آنالیز EDS نقاط مختلف نمونه‌ی مربوطه را بر حسب درصد وزنی آورده. جدول(۲)

جدول ۲-نتایج آنالیز EDS نقاط مختلف

عنصر / نقطه آزمایش	Fe	Mn	Si	O	Al	K	Ti	Na	Co
A	21/200	0/00	10/65	43/8	0/00	1/60	1/53	0/00	0/02
B	23/67	0/00	22/31	35/94	1/08	0/63	1/74	0/76	0/35
C	11/76	0/00	24/88	53/02	1/47	1/08	1/61	4/25	0/62
D	97/72	0/00	0/25	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00	0/95

طبق شکل‌های (۲)، (۴) و (۸) می‌توان به این نتیجه رسید که در نمونه‌ای که بدون پوشش‌دهی آبکاری الکتریکی بوده نقطه اتصال محکمی در فصل مشترک دیده نشده و گسیختگی لعاب به فلز کاملا به وضوح دیده شد. (شکل(۲))، در ادامه در نمونه‌ای که ۱۰ دقیقه پوشش‌دهی شده رشد شاخه‌ای ذرات کبالت بیشتر و گسترده‌تر است و شبیه بلورهای برف هستند که در تمام جهات رشد می‌کنند و همین باعث استحکام بالای نمونه شده است. (شکل (۸)). نمونه‌ی دیگر که ۵ دقیقه پوشش دهی شده تنها در بعضی از قسمت‌ها رشد شاخه‌ای ذرات کبالت مشاهده شده که در همان قسمت‌ها چسبندگی بالاتری نسبت به دیگر نقاط دیده شده است. (شکل(۴))

تصاویر (۵)، (۶) و (۷) آنالیز EDS مربوط به نمونه‌ای که ۵ دقیقه پوشش‌دهی شده است و (۹)، (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) آنالیز EDS مربوط به نمونه‌ای که ۱۰ دقیقه پوشش‌دهی شده است.که در ادامه مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در نمونه‌ای که ۵ دقیقه پوشش‌دهی شده در نقطه‌ی B و در نمونه‌ای که ۱۰ دقیقه پوشش‌دهی شده در نقطه‌ی A بیشترین درصد کبالت وجود دارد و همچنین مشاهده می‌شود که در این دونقطه‌ی مشخص شده بلورک‌های کبالت رشد شاخه‌ای فزاینده‌ای خواهند داشت. همچنین در تمام نقاط این دو نمونه فاز کبالت وجود دارد. در نمونه‌ای که بدون پوشش‌دهی بوده در هیچ نقطه‌ای بلورک‌های کبالت مشاهده نشده است.

و در اینجا استحکام با چسبندگی رابطه‌ی مستقیم دارد. پس در نمونه‌ی ای که ۱۰ دقیقه آبکاری الکتریکی شده استحکام و چسبندگی بالاتر است.

۳-۲-بررسی سطح و ظاهر لعاب

بررسی دقیق‌تر سطح لعاب در تصاویر a، ۲، ۴ و ۸ که توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گرفته شد به این نتیجه می‌انجامد که بر روی نمونه‌ای که ۵ دقیقه پوشش دهی شده عیوب سوراخ‌های نیش سوزنی و پینهول بیشتر دیده شده و در نهایت می‌توان گفت نمونه‌هایی که پوشش کاری شده بودند علاوه بر چسبندگی بالاتر دارای عیوبی از این قبیل که در بالا ذکر شده است نسبت به نمونه‌ی بدون پوشش‌دهی کمتر دیده شده است.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1392.9.4.2.3]

و می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش رشد شاخه‌ای بلورک‌های کبالت علاوه بر استحکام بالاتر و چسبندگی بالاتر، از عیوب پینهول و نیش سوزنی کمتر شده و لعابی با کیفیت بالاتر خواهیم داشت.
و همچنین به نظر می‌رسد که وجود یک فاصله پوشش اکسید کبالت بین فولاد ST-12 پایه و لعاب بالا موجب می شود که هوای حبس شده در زیر پوشش و یا اکسیژن آزاد شده از احیای لایه ی سطحی اکسید آهن از میان لعاب عبور نکند و ظاهر لعاب بدون پینهول باشد.

۳-۳-بررسی تست چسبندگی

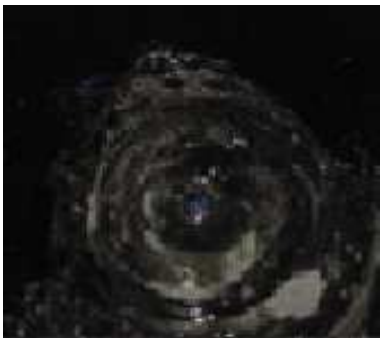
از نمونه‌های مورد نظر تست چسبندگی گرفته و هر شکل را با استفاده از نرم افزار فتوشاپ[4] به ناحیه‌های مساوی تقسیم کرده و می‌توان درصد چسبندگی را از رابطه‌ی زیر بدست آورد. تصاویر (۱۳) و (۱۴) و (۱۵)

رابطه (۱)

$$\text{درصد چسبندگی} = \frac{\text{تعداد ناحیه‌های رنگ شده}}{\text{تعداد کل ناحیه‌های نمونه}} \times ۱۰۰$$



شکل ۱۳- نمونه‌ی بدون پوشش آبکاری الکتریکی



شکل ۱۴- نمونه‌ی با ۵ دقیقه پوشش آبکاری الکتریکی



شکل ۱۵- نمونه‌ی با ۱۰ دقیقه پوشش‌دهی آبکاری الکتریکی

شکل.(۱۳) اثر سطح مقطع میله‌ی دستگاه ضربه را به ناحیه‌های مساوی تقسیم کرده که ۱۲ ناحیه ازکل شکل بدون پریدگی بوده‌اند و طبق زیر درصد چسبندگی را محاسبه کرده:

$$\frac{12}{42}\times 100 = 28\%$$

شکل (۱۴) اثر سطح مقطع میله‌ی دستگاه ضربه را به ناحیه‌های مساوی تقسیم کرده که ۵۳ ناحیه از کل شکل بدون پریدگی بوده‌اند و طبق زیر درصد چسبندگی را محاسبه کرده:

$$\frac{53}{63}\times 100 = 84\%$$

شکل (۱۵) اثر سطح مقطع میله‌ی دستگاه ضربه را به ناحیه‌های مساوی تقسیم کرده که ۴۱ ناحیه از کل شکل بدون پریدگی بوده‌اند و طبق زیر درصد چسبندگی را محاسبه کرده:

$$\frac{41}{42}\times 100 = 97\%$$

در نهایت این نتیجه حاصل شد که افزایش چسبندگی با افزایش زمان پوشش‌دهی کبالت همراه است.

٤- نتیجه‌گیری

- ذرات کبالت در فصل مشترک به صورت شاخه‌ای و شبیه به بلورهای برف در تمامی جهات رشد و اتصال برقرارکرده و باعث افزایش استحکام شده است.

[4] Photoshop

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1392.9.4.2.3]

- با افزایش زمان پوشش‌دهی فاکتور چسبندگی افزایش یافته است و فاکتور زمان با چسبندگی رابطه‌ای مستقیم دارد.
- وجود یک فاصله پوشش اکسید کبالت بین فولاد ST-12 پایه و لعاب بالا موجب می‌شود که هوای حبس شده در زیر پوشش و یا اکسیژن آزاد شده از احیای لایه‌ی سطحی اکسید آهن از میان لعاب عبور نکند و ظاهر لعاب بدون پینهول باشد.

مراجع

[1] Available from: URL: http:// mozabelectric-guilan.blogfa.com, Last visit jan 2013.

[۲] کالیتی، بی. دی. اعتمادی، ب. عمیقیان، ج.، "مبانی پراش پرتو ایکس"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شیراز، ۱۳۸۲.

[3] Williamson,G. K., Hall, W. H., "X-Ray lin broadening from Filed Aluminium and Wolfram" Acta Metallurgic,No.1,pp.22-31,1953.

[4] Available from: URL: http://www.tebyan.net, Last visit Nov 2012

[5] N. Eliaz, K. Venkatakrishna, A. Chitharanjan Hegde, "Electroplating and characterization of Zn–Ni, Zn–Co and Zn–Ni–Co alloys", Surface & Coatings Technology 205 (2010) 1969–1978.

[6] Available from: URL: http: // www. The Electroplating Method Explained – Metal Plating Club.mht, Last visit Nov 2012.

[7] Available from: URL: http:// www. corrosionofmetal - General introduction to other electrochemical corrosion methods.mht, Last visit Nov 2012.

[8] Available from:URL:http:// www.۱۰۰۰۰۶۳۹ مقالـه آبکـاری الکتریکـی PDF NiazeMarkazi.mht, Last visit Nov 2012.

[۹] ف. مسعودی بروجنی، لعاب فلز(۱)، انتشارات جوان، ۱۳۷۴.

[10] D. Wang, "Effect of crystallization on the property of hard enamel coating on steel substrate", Applied Surface Science 225 ,4640–4645,2009.

[11] Available from: URL: http://dtg60ah.persianblog.ir, Last visit Nov 2012.

[12] Andrew.I Andrews, Porcelain Enamels, Champaign,IL: Garrard press,1961.

[۱۳] س. باغشاهی، ع. میرحبیبی، لعاب‌ها و پوشش‌های شیشه‌ای،انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ۱۳۸۳.

[۱۴] م. سالاریه، لعاب خواص، کاربرد، عیوب، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ۱۳۸۳.

[۱۵] ف. مسعودی بروجنی، لعاب فلز(۲)، انتشارات ندا، ۱۳۷۶.

[16] Available from: URL: http://www.keskinkimya.com.tr, Last visit Nov 2012

[۱۷] ز. شیخی، ع. احمد پور، ن. شاه طهماسبی، م. باقری محققی، م. کریمی پور "سنتز نانو ذرات اکسید کبالت با ناخالصی مس به روش سل–ژل و بررسی خواص ساختاری آن‌ها"، اولین کنفرانس ملی نانو و بیو فناوری، کرمان، ۲۱– ۱۹آبان ۱۳۸۸.

[18] F. Guo, H. Zheng, Z. Yang, Y. Qian, "Synthesis of cobalt nanoparticles in ethanol hydrazine alkaline system (EHAS) at room temperature", Materials Letters 56 (2002) 906–909

[19] H. G. Zheng, J. H. Liang, J. H. Zeng, Y. T. Qian, Mater. Res. Bull. 36 (2001) 47.

[20] H. G. Zheng, J. H. Zeng, J. H. Liang, Acta Metall. Sin. 35(1999) 837.

[21] V. F. Puntes, K. M. Krishnan, A. P. Alivisatos, Science 291 (2001) 2115.

[22] V. F. Puntes, K. M. Krishnan, A. P. Alivisatos, Science 291 (2001) 47.

[23] X. L. Dong, C. J. Choi, B. K. Kim, Scripta Mater. 47 (2002) 857.

[24] Z. H. Wang, C. J. Choi, B. K. Kim, J. C. Kim, Z. D. Zhang, J. Alloys Comp. 351 (2003) 319.

[25] H. Shao, Y. Huang, H. Lee, Y. Jae Suh, C. Oh Kim, "Cobalt nanoparticles synthesis from Co(CH3COO)2

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1392.9.4.2.3]

by thermal decomposition", Journal of Magnetism and Magnetic Materials 304 (2006) e28–e30.

[26] X.Deng, P. Wei, M. Reza Bateni, A. Petric, "Cobalt plating of high temperature stainless steel interconnects", Journal of Power Sources 160 ,1225–1229,2006.

[27] L. Samiee, H. Sarpoolaky, A. Mirhabibi, "Microstructure and adherence of cobalt containing and cobalt free enamels to low carbon steel", Materials Science and Engineering A 458,88–95,2007.

[۲۸] ل. سمیعی، ح. سرپولکی، ع. میرحبیبی "بررسی مکانیسم‌های خوردگی پوشش های شیشه‌ای بر روی فولاد"، بین المللی علوم مهندسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، شماره ۲، جلد ۱۶، ص ۱۲۶-۱۱۷، ۱۳۸۴.

[29] F. Sheng Shieu,K. Chang Lin, J. Chyang Wong,''Microstructure and adherence of porcelain enamel to low carbon steel'' , Ceramics international 25,27–34,1999.

[۳۰] ا. منشی، "نظریه‌ای پیرامون مکانیزم چسبندگی لایه به زیر لایه در پوشش‌های سرامیکی"، چهارمین همایش ملی مهندسی سطح، اردیبهشت ۱۳۸۰.

[۳۱] ح. قاسمی، م. اردستانی، ع. دلیر بد، ع. پارسایی، ح. عباس‌زاده، پ. پاس بخش، ع. موبدی "مجموعه فرمول‌ها و نکات مهندسی مواد (کارشناسی ارشد)"، انتشارات کامران، اردیبهشت ۸۳ ۱۳.

[۳۲] ر. جلالیان، ر. خوش منش "کنکور کارشناسی ارشد مهندسی مواد"، انتشارات آزاده، آبان ۸۵۱۳.



[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-26]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1392.9.4.2.3]