

## تأثیر پارامترهای پوشش دهی بر ساختار و میکروسختی پوشش آلیاژی روی - قلع به روش آبکاری

سعید اکبرزاده گرگانیان<sup>۱</sup>، سعیدرضا اله‌کرم<sup>\*</sup>، حسن فرهنگ<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، تهران، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۳/۰۸/۲۶، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۴/۰۶/۰۴، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۴/۰۶/۱۴

**چکیده** پوشش آلیاژی روی - قلع کاربرد فراوانی دارد، زیرا این پوشش باعث بهبود خواص مختلف مانند لحیم‌کاری و انعطاف‌پذیری می‌شود. در این تحقیق تأثیر دانسیته جریان، دما و pH حمام آبکاری بر روی راندمان جریان کاتدی و ساختار پوشش مورد بررسی قرار گرفت. پوشش روی - قلع بر روی فولاد از الکترولیت اسیدی در شرایط عملی مختلف به دست آمد. ساختار پوشش‌های به دست آمده، با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به آنالیز (EDS) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش میکروسختی هم بر روی سطح پوشش و هم بر روی سطح مقطع آن انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش دانسیته جریان تا  $4 \text{ mA/cm}^2$ ، کاهش اندازه ذرات، افزایش راندمان جریان کاتدی و پس از آن با افزایش دانسیته جریان تا  $10 \text{ mA/cm}^2$ ، کاهش راندمان جریان کاتدی مشاهده گردید. به اضافه این‌که با افزایش دما مورفولوژی پوشش به دانه‌هایی درشت تبدیل شد و محتوای روی پوشش کاهش یافت و همین‌طور با افزایش pH تغییرات محتوای روی پوشش‌ها به صورت صعودی - نزولی است. نتایج تست سختی نشان داد که پوشش آلیاژی روی - قلع با افزایش یون روی تا مقدار ۷۲ wt.%، موجب افزایش سختی پوشش می‌شود.

**کلمات کلیدی:** آبکاری روی - قلع، پارامترهای آبکاری، راندمان جریان کاتدی، تست سختی سنجی.

## Effect of Coating Processes Parameters on Structure and Micro Hardness of Zn-Sn Alloy Coating Via Electroplating

Saeid Akbarzadeh<sup>1</sup>, Saied Reza Allahkaram<sup>\*1</sup>, Hasan Farhangi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Tehran, College of Engineering, School of Metallurgy and Materials Engineering, Tehran, Iran

**Abstract** Zinc-Tin alloy coatings have many applications because of their unique properties such as corrosion resistance, solder ability, and flexibility. In this study, the effect of current density and temperature on the cathodic current and structures of the coatings was investigated. Structure of the coatings obtained was evaluated via Scanning Electron Microscope (SEM) equipped with Energy Dispersive Analysis (EDS). The experimental results showed that increasing the current density to  $4 \text{ mA/cm}^2$ , result in decreasing the particle size and increasing the cathodic current efficiency. Then, by incrementing the current density to  $10 \text{ mA/cm}^2$ , the reduction of the cathodic current efficiency was observed also with incrementing temperature the coating morphology became coarser grains and the content of zinc decreased. The result of hardness testing revealed that increasing zinc ion to the 72 wt.% Zinc-tin alloy coating has the highest value of hardness.

**Keywords:** Zinc-Tin electroplating, cathodic current efficiency, micro hardness.

## ۱- مقدمه

استفاده از علوم و فنون به‌کار رفته در طراحی و ساخت قطعات صنعتی به منظور افزایش دوام و کاهش مصرف انرژی و قیمت تمام شده، در دنیای پیشرفته امروزی امری اجتناب ناپذیر است و تکنولوژی‌های به‌کار رفته در پوشش‌کاری قطعات با یک ماده مقاوم، از با اهمیت‌ترین روش‌های بهبود خواص سطحی قطعات به همراه حفظ خواص ذاتی فلز پایه است. اهمیت پوشش‌کاری در این نکته نهفته که در بسیاری از قطعات با ایجاد یک لایه یا چندلایه پوشش مقاوم در سطح، می‌توان دوام و کارایی قطعات را بهبود بخشید. از جمله این موارد می‌توان به بهبود در مقاومت به خوردگی، بهبود خواص اصطکاکی و مقاومت سایشی، اصلاح هدایت الکتریکی، افزایش قابلیت رنگ‌پذیری و بهبود خواص ظاهری شامل رنگ و صافی سطح اشاره کرد [۱-۳]. در بیشتر محیط‌ها پوشش‌های آلیاژ روی- قلع با توجه به مقاومت خوردگی بالا، قابلیت لحیم‌کاری و به دلیل این‌که کادمیوم بخارات سمی آزاد می‌کند و گران قیمت بودن کادمیوم (به دلیل استراتژیک بودن آن)، جانشین پوشش‌های کادمیوم شده است [۴]. فرایند رایج ترسیب با استفاده از محلول اسیدی انجام می‌گیرد ولی با ذکر این نکته که ترکیب و خواص رسوب ریزدانه و تاحدودی روشن روی- قلع از یک محلول قلیایی به‌دست می‌آید. اغلب پوشش‌های این آلیاژ در گستره ترکیب Zn-۲۰ Sn-۸۰ و Zn-۳۰ Sn-۷۰ به‌کار می‌رود و الکترولیت آن از مخلوط کردن سولفات آمونیوم، سولفات سدیم، اسید سیتریک، اسید تارتاریک، سیترات سدیم ساخته می‌شود. در تحقیق حاضر پوشش‌های برپایه آلیاژهای روی- قلع به روش آبکاری تهیه گردیده است. به طور کلی پوشش‌های آلیاژی روی با عناصر خانواده آهن را می‌توان با استفاده از حمام‌های اسیدی و قلیایی آبکاری کرد. طی مطالعات دهه اخیر دانشمندان تلاش بر توسعه حمام‌های غیرسیانیدی به عنوان جایگزینی برای پوشش‌های سمی کادمیوم داشتند [۵]. براساس گزارش گاس<sup>۱</sup> و همکارانش حمام‌های اسیدی می‌تواند بر پایه سولفات، کلرید، سولفات- کلرید و استات باشند. حمام‌های قلیایی نیز می‌توانند سیانیدی، غیرسیانیدی و یا برپایه متانول باشند [۶].

وانگ<sup>۲</sup> و همکارانش با بررسی بر روی یک حمام اسیدی به این نتیجه رسیدند که با افزایش دانسیته جریان محلول درصد وزنی قلع پوشش کاهش یافته است. آن‌ها جریان  $5 \text{ mA/cm}^2$  را برای دستیابی به پوششی با درصد Zn-۳۰ Sn-۷۰ جریان بهینه خود قرار دادند. همین‌طور بررسی‌های وانگ و همکارانش نشان داد که تغییرات زمان نسبت به نرخ رسوب به صورت یک خط مستقیم است یعنی با افزایش زمان آبکاری نرخ رسوب بیشتر شده و پوشش ضخیم‌تر می‌شود [۷]. آشیرو<sup>۳</sup> و همکارانش پارامترهای مختلف از قبیل ترکیب شیمیایی آلیاژ روی- قلع و تغییرات pH را بررسی کردند. آن‌ها همین‌طور از عوامل کمپلکس‌ساز مختلف در آزمایش‌های خود استفاده نمودند که موجب بهبود خواص پوشش آلیاژی روی- قلع شده است. آن‌ها بعد از بررسی آزمون‌های خوردگی و مقایسه پوشش روی- قلع با پوشش‌های کادمیوم، روی، روی- نیکل به بالاتر بودن مقاومت پوشش آلیاژی روی- قلع حاوی ۲۵٪ روی دست یافتند. همین‌طور در بررسی‌های آشیرو و همکارانش مشاهده شد با افزایش یون فلز روی در محلول، درصد وزنی روی پوشش روبه افزایش است. آن‌ها همچنین مشاهده کردند با افزایش یون فلز قلع در محلول همواره درصد وزنی فلز روی در پوشش کاهش پیدا می‌کند [۸].

## ۲- روش تحقیق

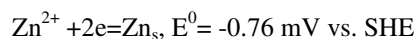
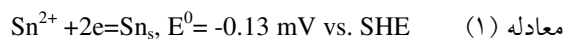
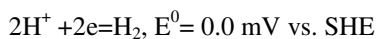
## ۲-۱- آماده سازی زیرلایه جهت پوشش‌دهی

زیرلایه مورد استفاده در این پژوهش از جنس فولاد ساده کربنی St37 و آند مورد استفاده، فولاد زنگ‌نزن که هر یک با مساحت موثر ۴ سانتی‌متر مربع انتخاب شدند. جهت آماده‌سازی نمونه‌ها ابتدا توسط سنباده مش ۱۲۰ تا ۲۰۰۰ آماده‌سازی مکانیکی و پس از شستشو با آب مقطر، نمونه‌ها استون‌شویی شدند. در مرحله بعد با محلول 15% w/v NaOH چربی‌زدایی انجام گرفت و پس از شستشوی نهایی با آب مقطر، در انتها با استفاده از محلول ۲۰٪ اسید کلریدریک در دمای اتاق به مدت ۱ دقیقه اسیدشویی گردیدند.

2- Wang

3- Ashiru

1- Gaus



## ۲-۲- رسوب‌دهی پوشش روی-قلع

برای ایجاد پوشش‌های آلیاژی روی-قلع با استفاده از جریان مستقیم از حمام سولفاتی و دستگاه رکتیفایر مدل ZCM 761 ساخت شرکت زاگ شیمی استفاده شد. ترکیب حمام آبکاری جهت ایجاد پوشش روی-قلع در جدول (۱) آورده شده است. لازم به ذکر می‌باشد برای تهیه این حمام از مواد شیمیایی آزمایشگاهی با خلوص بالا و ساخت شرکت مرک<sup>۱</sup> آلمان استفاده شد. همچنین جهت تنظیم pH از NaOH و HCl یک مولار توسط دستگاه اندازه‌گیری pH مدل PTR 79 ساخت شرکت زاگ شیمی بهره‌برداری گردید.

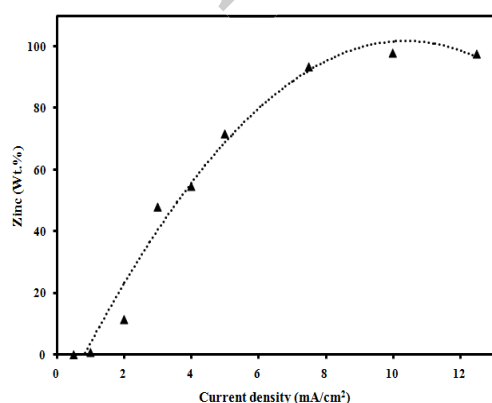
جدول ۱. ترکیب حمام آبکاری پایه سولفاتی روی-قلع.

ماده	فرمول شیمیایی	نقش	غلظت (g/l)
سولفات روی هفت‌آبه	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	منبع یون روی	۱۰
سولفات قلع	SnSO <sub>4</sub>	منبع یون قلع	۵
سیترات سدیم	Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	عامل کمپلکس‌کننده	۲۵
سدیم دو سولفات	SDS	عامل ترکنده	۰/۱

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- تأثیر دانسیته جریان

در شکل (۱) ترکیب شیمیایی پوشش‌های قلع-روی (محتوای روی و قلع) به صورت تابعی از دانسیته جریان نشان داده شده است. دما و pH به ترتیب برابر ۳۰°C و ۴ است. با توجه به شکل (۱) مشاهده می‌شود که در دانسیته جریان‌های کم ( $\leq 0.5 \text{ mA/cm}^2$ ) پوشش حاصل، قلع نسبتاً خالص می‌باشد ولی با افزایش دانسیته جریان محتوای روی پوشش افزایش یافته و در دانسیته جریان‌های نسبتاً بالا ( $\leq 10 \text{ mA/cm}^2$ ) پوشش روی خالص به دست می‌آید.

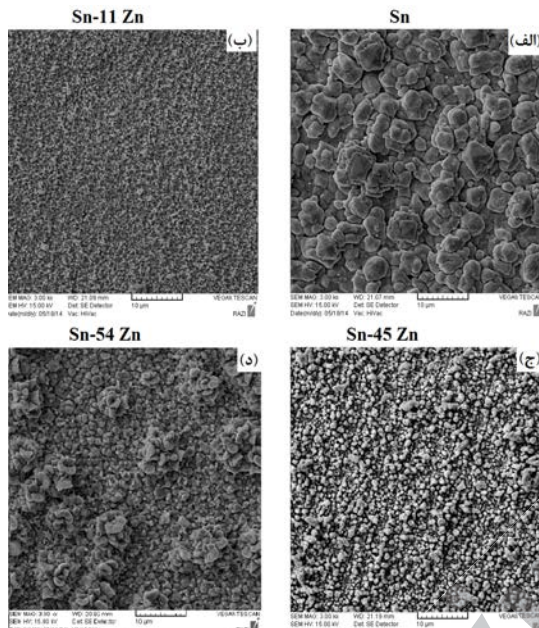


شکل ۱. محتوای روی پوشش‌های قلع-روی به صورت تابعی از دانسیته جریان.

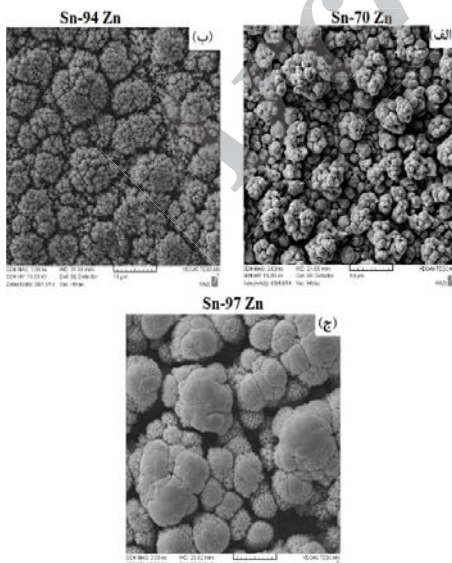
### ۳-۲- مشخصه‌یابی پوشش

به منظور بررسی مورفولوژی و ترکیب شیمیایی پوشش‌ها، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل CAMSCAN MV2300 مجهز به طیف‌نگار توزیع انرژی (EDS) مدل Rontec استفاده شد. برای تعیین ترکیب شیمیایی پوشش، از سه قسمت مختلف آن و در دو بزرگنمایی ۱۰۰X و ۳۰۰X آنالیز EDS انجام و میانگین نتایج آنها گزارش گردید. به منظور بررسی ساختار کریستالی و نوع فازهای موجود در پوشش از دستگاه پراش اشعه ایکس مدل Philips X Pert Pro استفاده شد.

ریزتری در مقایسه با پوشش قلع خالص بوده و سطح این پوشش ها ناهموارتر و کم تراکم (میکرو تخلخل) است. علت ناهمواری را می توان به افزایش سرعت احیای یون های فلزی (سرعت رشد دانه) نسبت داد. با افزایش دانسیته جریان احیای یون هیدروژن سخت تر و مواضع در دسترس برای احیای یون های فلزی (جوانه زنی) بیشتر است در نتیجه ساختار پوشش ها دانه ریزتر می شود.



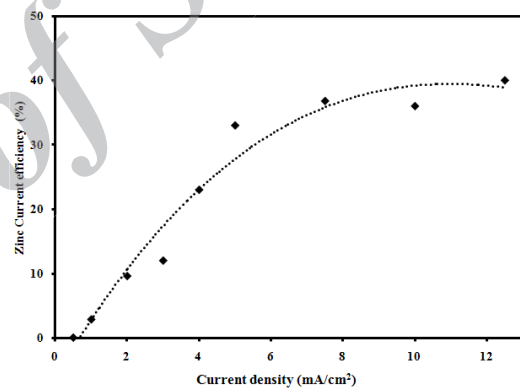
شکل ۳. تأثیر دانسیته جریان روی مورفولوژی پوشش های روی - قلع. (الف)  $1 \text{ mA/cm}^2$ ، (ب)  $2 \text{ mA/cm}^2$ ، (ج)  $3 \text{ mA/cm}^2$  و (د)  $4 \text{ mA/cm}^2$ .



شکل ۴. تأثیر دانسیته جریان روی مورفولوژی پوشش های روی - قلع. (الف)  $5 \text{ mA/cm}^2$ ، (ب)  $7/5 \text{ mA/cm}^2$  و (ج)  $10 \text{ mA/cm}^2$ .

در سری الکتروشیمیایی روی پایین تر از هیدروژن و قلع قرار دارد و نسبت به قلع فعال تر است. در حین فرایند آبرکاری در اطراف کاتد واکنش های احیایی زیر انجام می شود:

که با توجه به پتانسیل احیایی واکنش ها، پتانسیل احیای قلع نزدیک به هیدروژن است. در هنگام اتصال جریان، هیدروژن و قلع با یکدیگر احیا شده و در ادامه یون روی نیز احیا می شود. در دانسیته جریان های کم ( $\leq 5 \text{ mA/cm}^2$ ) میزان الکترون در دسترس برای انجام واکنش های احیایی کم است و اکثر آن در واکنش ترسیب یون قلع و تصاعد گاز هیدروژن مصرف شده و میزان کمی الکترون برای احیای یون روی وجود دارد. به همین دلیل احیای یون روی با سرعت بسیار کمی انجام می شود (مقدار بازدهی جریان کاتدی در این شرایط کم تر از ۱٪ است، شکل ۲).



شکل ۲. تأثیر دانسیته جریان روی بازدهی جریان کاتدی احیای یون روی.

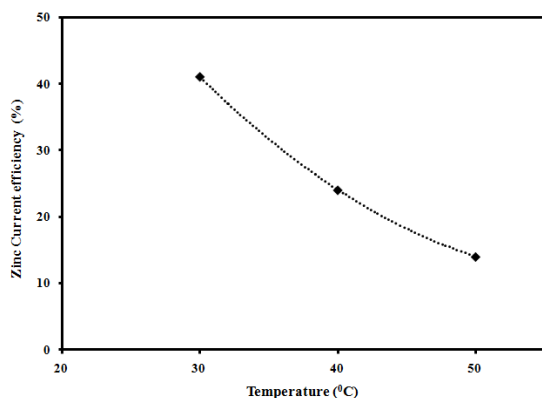
با افزایش دانسیته جریان، مقدار انرژی الکتریکی در دسترس برای احیای یون روی و ولتاژ اضافی احیای یون هیدروژن روی سطح افزایش می یابد در نتیجه سرعت واکنش احیای یون روی و به تبع آن بازدهی جریان کاتدی افزایش می یابد. در این شرایط محتوای روی پوشش ها افزایش یافته و رنگ پوشش ها تیره تر می شود.

در شکل های (۳) و (۴) تصاویر مربوط به مورفولوژی پوشش های روی - قلع حاصل از دانسیته جریان های مختلف ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود پوشش قلع خالص (محتوای روی کم تر از ۱ wt.%)، شکل ۳- الف) متشکل از دانه های کروی درشت و سطح پوشش در مقیاس ماکرو هموار و متراکم است. پوشش های روی - قلع با درصد های بالایی از روی (بزرگ تر از ۱۱ wt.%) متشکل از دانه های

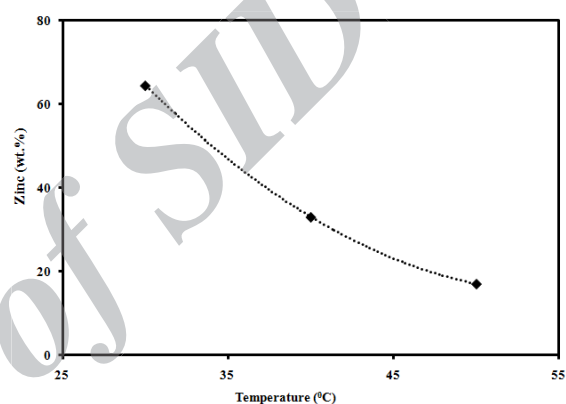


## ۳-۲- تأثیر دمای محلول آبکاری

در شکل (۵) محتوای روی پوشش‌ها به صورت تابعی از دمای حمام آبکاری نشان داده شده است. دانسیته جریان و pH به ترتیب برابر  $5 \text{ mA/cm}^2$  و ۴ می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش دمای محلول، محتوای روی پوشش کاهش می‌یابد. با افزایش دما، میزان تحرک و یا موبیلیته یون‌های فلزی بیشتر می‌شود که در این شرایط نرخ نفوذ یون‌ها به سطح روند افزایشی دارد در نتیجه میزان احیای یون‌های فلزی (سرعت واکنش‌های الکتروشیمیایی) بیشتر است [۹].

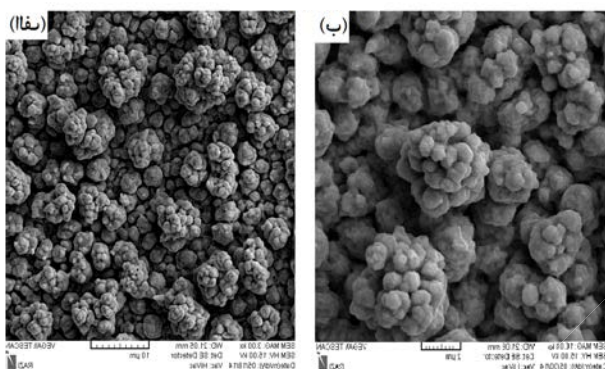


شکل ۶. تأثیر دمای محلول آبکاری روی بازدهی جریان کاتدی احیای یون روی.



شکل ۵. محتوای روی پوشش روی-قلع به صورت تابعی از دمای حمام آبکاری.

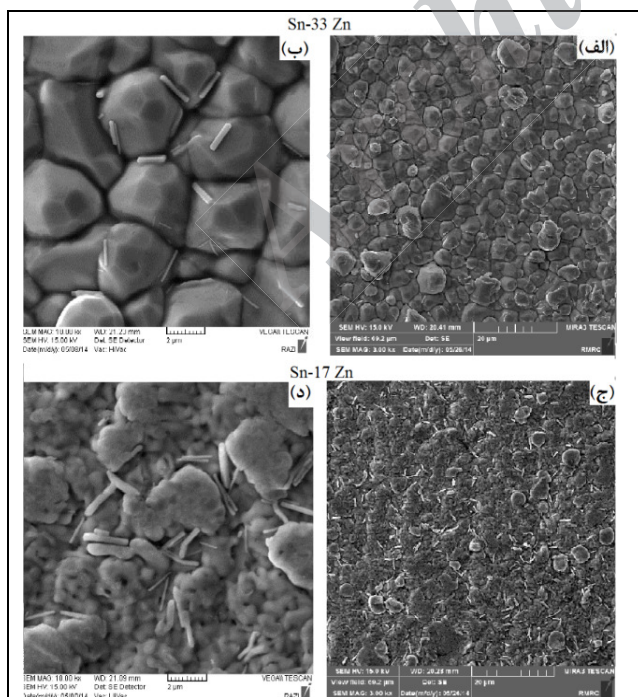
## Sn-70 Zn



شکل ۷. پوشش‌های روی-قلع اعمال شده در دمای  $30^\circ\text{C}$ .

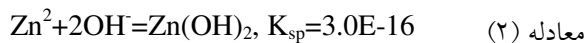
با توجه به این که یون روی سبک‌تر است بنابراین می‌توان انتظار داشت که با بیشتر شدن نرخ نفوذ یون روی با افزایش دما محتوای آن در پوشش افزایش یابد در حالی که عکس این قضیه اتفاق می‌افتد. علت این قضیه را می‌توان به افت پتانسیل احیای یون هیدروژن با افزایش دما نسبت داد. در این حالت، سرعت احیای یون هیدروژن افزایش یافته (واکنش رقیب احیای یون روی) و به تبع آن مقدار روی احیا شده (بازدهی جریان کاتدی، شکل ۶) کاهش می‌یابد.

در شکل‌های (۷) و (۸) تأثیر دمای حمام آبکاری روی مورفولوژی سطح پوشش‌های قلع-روی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در دمای کم پوشش قلع-روی متشکل از دانه‌های ریزی است و سطح آن ناهموار و کم‌تراکم می‌باشد. این در حالی است که با افزایش دما دانه‌ها درشت‌تر شده، سطح هموار و متراکم می‌شود.

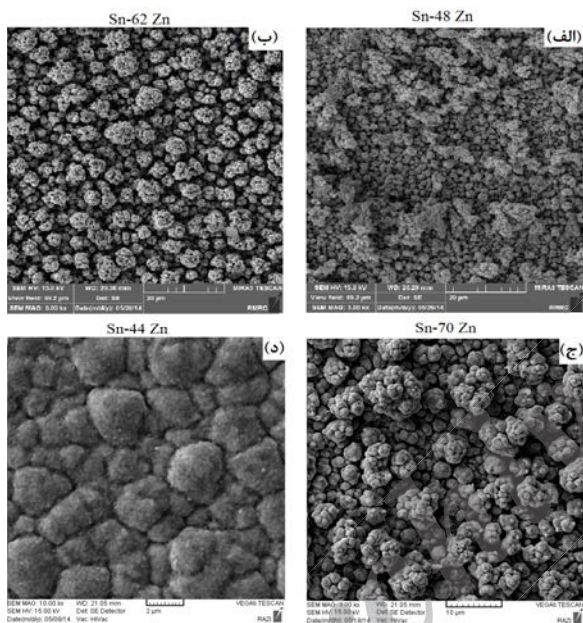


شکل ۸. پوشش‌های روی-قلع اعمال شده در دمای (الف و ب)  $40^\circ\text{C}$  و (ج و د)  $50^\circ\text{C}$ .

به دست آورد در حالی که قضیه درست برعکس است. با افزایش pH محتوای روی کاهش می‌یابد که علت این پدیده را می‌توان به رسوبات سفید رنگ هیدروکسید روی (معادله ۲) در اطراف کاتد (شرایط قلیایی) نسبت داد.



در شکل (۱۰) تأثیر pH حمام آبکاری روی مورفولوژی پوشش‌ها نشان داده شده که دانسیته جریان و دما به ترتیب برابر  $5 \text{ mA/cm}^2$  و  $30^\circ \text{C}$  مشاهده می‌شود.



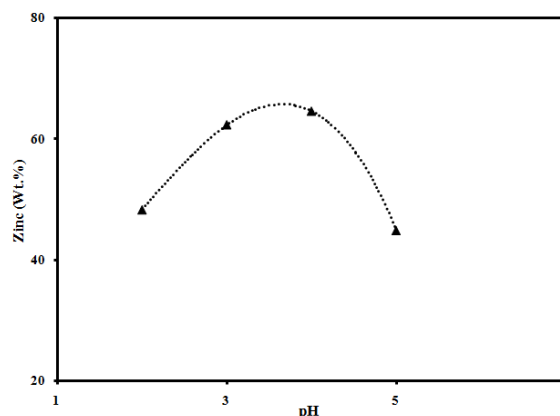
شکل ۱۰. تأثیر pH روی مورفولوژی پوشش‌های روی-قلع (الف) pH=۲، (ب) pH=۳، (ج) pH=۴ و (د) pH=۵.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش pH حمام تا ۴ میزان همواری و تراکم پوشش‌ها کاهش می‌یابد ولی با افزایش بیشتر pH سطح پوشش‌ها دوباره متراکم‌تر و هموارتر می‌شود. با افزایش واکنش تصاعد هیدروژن، واکنش رقیب ترسیب یون روی می‌باشد. در محیط‌های اسیدی (pH=۲)، غلظت یون هیدروژن نسبتاً بالا است که در این حالت محتوای روی پوشش‌ها کاهش می‌یابد. پوشش‌های قلع- روی با محتوای روی کم دارای سطحی نسبتاً هموار و متراکم هستند (شکل ۱۰). این حالت در مقایسه با پوشش‌هایی با محتوای روی بالاتر ( $\leq 48 \text{ wt.}$ ) است. با افزایش pH شرایط برای احیای یون

در دمای پایین، میزان واکنش احیای یون هیدروژن با سرعت کم‌تری انجام می‌شود. در نتیجه مواضع در دسترس برای احیای یون‌های فلزی بیشتر شده و ساختار دانه ریزتر می‌شود. با افزایش دما میزان احیای هیدروژن افزایش می‌یابد در نتیجه واکنش احیای یون روی به دلیل فعالیت بالای آن نسبت به یون هیدروژن با سرعت کم‌تری انجام شده و لایه‌های اولیه تشکیل شده روی سطح از جنس قلع با محتوای روی کم است. پتانسیل احیای یون هیدروژن روی چنین لایه‌ای در مقایسه با لایه‌ای با محتوای روی بالاتر بیشتر است. ایجاد چنین حالتی باعث کاهش تخلخل پوشش و هموارتر شدن سطح آن می‌شود.

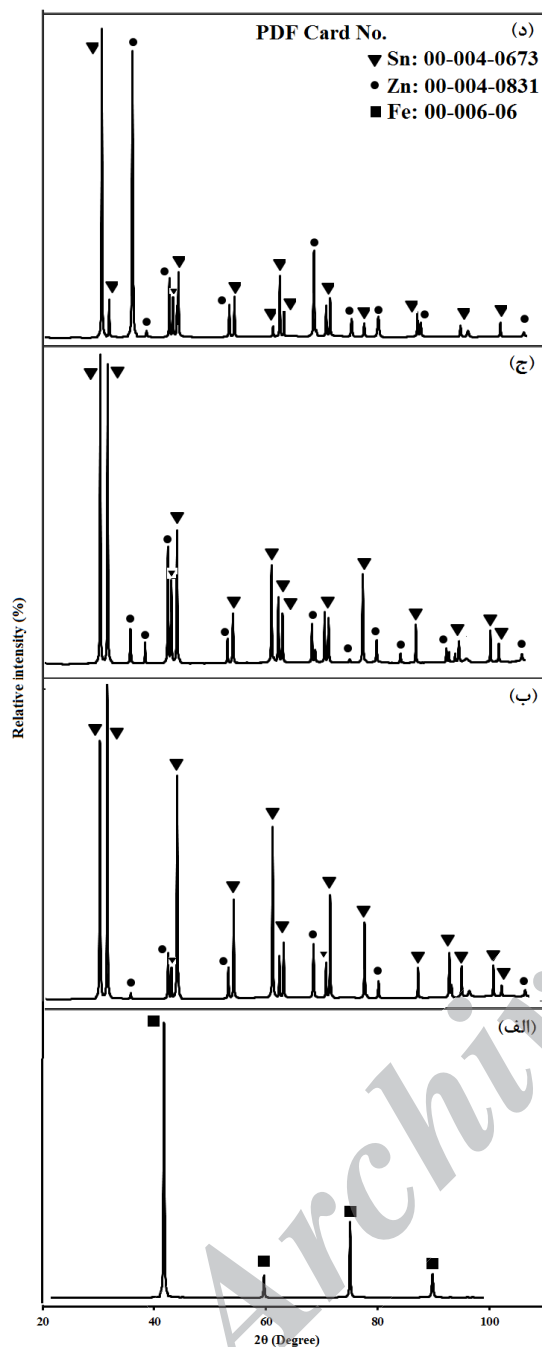
### ۳-۳- تأثیر pH

در شکل (۹) تأثیر pH حمام آبکاری روی ترکیب شیمیایی (محتوای روی) پوشش‌های قلع- روی نشان داده شده است. دانسیته جریان و دما به ترتیب برابر  $5 \text{ mA/cm}^2$  و  $30^\circ \text{C}$  است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در pH پایین (pH=۲) محتوای روی پوشش‌ها کم است.



شکل ۹. محتوای روی پوشش روی-قلع به صورت تابعی از pH

در محیط‌های اسیدی غلظت نرخ احیای یون هیدروژن به علت بالا بودن غلظت یون هیدروژن بالا است که در این شرایط احیای یون روی سخت‌تر و در نتیجه محتوای روی پوشش کاهش می‌یابد. با افزایش pH نرخ تصاعد هیدروژن کاهش یافته و شرایط برای ترسیب روی فراهم شده و محتوای آن در پوشش افزایش می‌یابد. بنابراین باید انتظار داشت که با افزایش بیشتر pH محتوای روی بیشتر، می‌توان پوشش روی خالص را



شکل ۱۱. الگوی XRD (الف) زیرلایه فولادی و پوشش‌های روی-قلع با (ب) ۱۱٪، (ج) ۳۳٪ و (د) ۶۵٪ روی.

روی فراهم شده و محتوای روی پوشش افزایش می‌یابد. در این حالت پوشش‌ها دارای سطحی ناهموار بوده و تراکم آن‌ها کم‌تر است. در pH های بالاتر ( $< 5$ ) محتوای روی پوشش‌ها به خاطر تشکیل رسوبات هیدروکسیدی دوباره کاهش یافته و سطح پوشش‌ها دوباره هموارتر می‌شود.

### ۳-۴- ساختار کریستالی پوشش‌ها

در شکل (۱۱) الگوی XRD زیرلایه آهنی (شکل ۱۱-الف) و پوشش‌های Sn-11.0 Zn (شکل ۱۱-ب)، Sn-33.0 Zn (شکل ۱۱-ج) و Sn-65.0 Zn (شکل ۱۱-د) نشان داده شده است. پیک‌های زیادی در الگوی XRD پوشش‌ها وجود دارد که شدت آن‌ها با تغییر ترکیب شیمیایی پوشش تغییر می‌کند. با افزایش مقدار روی موجود در پوشش شدت پیک‌های مربوط به قلع کاهش و پیک‌های روی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر پیک‌های مربوط به صفحات کریستالی (۰۰۲) و (۰۰۱) فاز روی در اطراف زوایای ۳۶ و ۳۹ درجه با افزایش مقدار روی به ۳۳٪ wt. نمایان می‌شود. در این شرایط مقدار روی به حدی است که توانایی ایجاد پراش‌های سازنده را دارد. با افزایش بیشتر محتوای روی، شدت پیک‌های مربوط به فاز قلع کاهش و در زمینه ناپدید شده است و شدت پیک‌های روی بیشتر می‌شود. در الگوی XRD پوشش‌ها پیک‌های مربوط به زیرلایه آهنی، علی‌رغم ضخامت کم پوشش‌ها ( $\approx 10 \mu\text{m}$ ) وجود ندارد که این مطلب نشان دهنده این است که عمق نفوذ اشعه ایکس در پوشش قلع-روی بسیار کم است.

دو فازی بودن پوشش به خاطر انحلال کم روی در ساختار قلع در دمای اتاق است (شکل ۱۱). در دمای اتاق پوشش‌های قلع-روی متشکل از دو فاز  $\alpha$  (محلول جامد Sn-2.5 Zn) و روی خالص است.

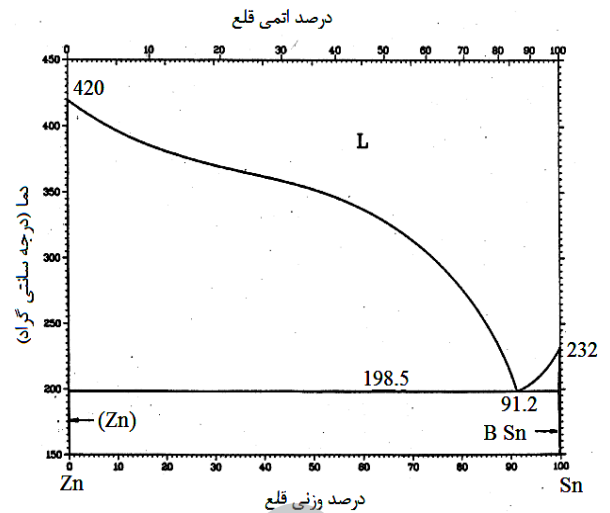
شرایط سختی از سختی روی خالص بیشتر است. با افزایش بیشتر محتوای روی به علت بالا بودن پتانسیل احیای یون هیدروژن روی سطح پوشش (دارای محتوای روی بیشتر) سطح پوشش متخلخل می‌شود که این تغییر مورفولوژی موجب کاهش سختی پوشش شده است.

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق پوشش روی-قلع بر روی زیرلایه از جنس فولاد ساده کربنی St37 به روش آبکاری الکتریکی با جریان مستقیم با موفقیت انجام شد و نتایج ذیل حاصل گردید: در دانسیته جریان‌های کم ( $\geq 0.5 \text{ mA/cm}^2$ ) پوشش حاصل، قلع نسبتاً خالص است ولی با افزایش دانسیته جریان محتوای روی پوشش افزایش یافته و در دانسیته جریان‌های نسبتاً بالا ( $\leq 10 \text{ mA/cm}^2$ ) پوشش روی خالص به دست آمد. با افزایش دمای محلول، محتوای روی پوشش کاهش یافت. تغییرات محتوای روی پوشش‌ها با افزایش pH به صورت صعودی- نزولی است. با افزایش محتوای روی، سطح پوشش‌ها کم تراکم‌تر، ناهموارتر و ساختار ریزدانه‌تر شد. ساختار کریستالی پوشش‌ها در دمای اتاق متشکل از فازهای کریستالی  $\alpha$  (محلول جامد Sn-2.5 Zn) و روی خالص است. تغییرات میکروسختی پوشش‌ها با افزایش محتوای روی دارای روند صعودی- نزولی است. بیشترین مقدار سختی برای پوشش‌های قلع- روی در حدود ۸۰ HV در محتوای wt.% ۷۲ روی می‌باشد.

#### مراجع

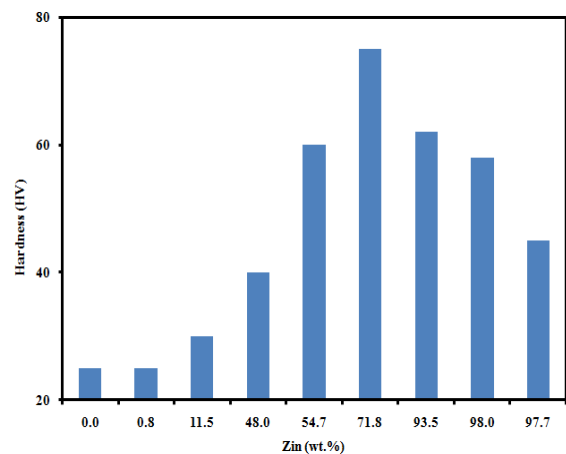
1. Rabizadeh, T., Khameneh, SH., Asl, "Investigation of Tin-Zinc alloy properties prepared with pulse and direct current electrodeposition". *Proceeding of 9th Iranian Seminar on Surface Engineering*, 2008.
2. Myers, D. "Surfactant science and technology", John Wiley & Sons, 2005, 87-96.
3. Lowenheim, F.A., Davis, J. "Modern electroplating", *Journal of The Electrochemical Society*, 1974, 121, 387-397.
4. Barbosa, L., Carlos, I. "Development of a novel alkaline zinc-iron plating bath containing sorbitol and the chemical, physical and morphological characterization of the Zn-Fe films", *Surface and Coatings Technology*, 2006, 201, 1695-1703.



شکل ۱۲. نمودار تعادلی فازی سیستم روی-قلع [۱۰].

#### ۳-۵- میکروسختی پوشش‌ها

در شکل (۱۳) میکروسختی پوشش‌های قلع- روی با درصدهای مختلفی از روی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سختی قلع خالص از روی کم‌تر می‌باشد. با افزایش مقدار روی تا ۴۸ wt.% در زمینه قلع، سختی زمینه افزایش می‌یابد که این موضوع را می‌توان به اثرات استحکام بخشی فاز سخت در زمینه نرم نسبت داد.



شکل ۱۳. میکروسختی پوشش‌های روی-قلع با درصدهای مختلفی از

روی.

با بیشتر شدن مقدار روی، زمینه از قلع به روی تغییر پیدا می‌کند. به عبارت دیگر در محتوای بالای روی ( $< 48 \text{ wt.}$ ) پوشش متشکل از زمینه روی می‌باشد که قلع در آن توزیع شده است. در این حالت با کاهش مقدار قلع به تقریباً ۲۸ wt.%، سختی پوشش‌ها افزایش می‌یابد. در این



8. O. Ashiru, O. , Shirokoff, J. , "Electrodeposition and characterization of tin-zinc alloy coatings", *Applied Surface Science*, 1996, 103, 159-169.
9. D. Skoog, D. West and F. Holler, "Fundamentals of Analytical Chemistry", *Singapore: Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, 8th edition*, 2006, 195-205
10. Lichušina, "Cobalt-rich Zn-Co alloys: electrochemical deposition, structure and corrosion resistance", *Chemija*, 2008, 19, 25-31.
5. Dubent, S. , Mertens, M. , Saurat, M. "Electrodeposition, characterization and corrosion behaviour of tin-20wt.% zinc coatings electroplated from a non-cyanide alkaline bath", *Materials Chemistry and Physics*, 2010, 120, 371-380.
6. Gaus, E. , Torrent-Burgués, J., "Tin-zinc electrodeposition from sulphate-tartrate baths", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2005, 575, 301-309.
7. Wang, K., Pickering. H., Weil, K. , "EQCM studies of the electrodeposition and corrosion of tin-zinc coatings", *Electrochimica Acta*, 2001, 46, 3835-3840.

Archive of SID