نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران
ویژه‌نامه مهندسی مواد و متالورژی، جلد ۱۹، شماره ۵، سال ۱۳۸۷، صفحه ۹۸-۹۳

ایجاد پوشش آلیاژی بدون برق Ni-B-Tl و مطالعه برخی از ویژگیهای پوشش ایجاد شده

مجید عبدلی، نقی پروینی احمدی و رسول آذری خسروشاهی

چکیده: در این تحقیق برخی از ویژگیهای پوشش بدون برق Ni-B-Tl، از طریق محلول کلریدی بر فولاد ۳۱۶ بررسی شده است. برای ایجاد پوشش Ni-B-Tl از یک حمام قلیایی شامل بروهیدرات سدیم بعنوان احیاکننده و نیترات تالیوم بعنوان پایدارکننده استفاده شد. تغییرات ریزسختی پوشش، سرعت رسوب گذاری و درصد وزنی نیکل، بُر و تالیوم در دما و زمانهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، ساختار پوشش در حالت بعد از پوشش دهی و بدون عملیات حرارتی با توجه به درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده آن بررسی و شناسایی شد. نتایج آزمایشات نشان می‌دهند که با اضافه کردن نیترات تالیوم، Tl نیز همراه نیکل و بُر روی سطح نمونه رسوب می‌کند. با افزایش زمان درصد وزنی بُر و تالیوم افزایش و درصد وزنی نیکل کاهش و همچنین با افزایش دمای پوشش دهی درصد وزنی بُر و تالیوم کاهش و درصد وزنی نیکل افزایش می‌یابد. با افزایش دما، ریزسختی پوشش افزایش یافته و با افزایش زمان پوشش دهی، ریزسختی بعد از یک روند افزایشی، کاهش پیدا می‌کند. الگوی XRD در حالت بعد از عملیات حرارتی بمدت یک ساعت در دمای ۴۵۰°C وجود فازهای بلوری نیکل، تالیوم و بورایدهای نیکل (Ni_3B و Ni_2B) را نشان می‌دهد. افزایش ریزسختی پوشش می‌تواند به دلیل وجود فازهای بلوری و بورایدهای نیکل باشد.

واژه های کلیدی: پوشش بدون برق، نیکل- بُر- تالیوم

۱. مقدمه

بعد از کشف پوششکاری اتوکاتالیتیک بدون برق نیکل توسط ریدل و برنر در سال ۱۹۴۶ استفاده از این پوششها بخاطر خواص و ویژگیهای مطلوب آن رو به رشد بوده است. این پوشش بخاطر سختی زیاد و مقاومت در مقابل سایش، بعنوان یک پوشش مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بخاطر وجود این خواص پوششهای نیکل ایجاد شده بدون استفاده از جریان برق کاربردهای زیادی پیدا کرده‌اند، در این میان پوشش‌های بدون برق Ni-B و Ni-B-Tl جایگاه ویژه‌ای دارند. موارد مصرف این پوشش‌ها شامل: صنایع پتروشیمی، شیمیایی، پلاستیک، چاپ، فضایی، الکترونیکی، مواد غذایی و بسیاری از کاربردهای دیگر است[۴-۱]. مواد زیادی وجود دارند که می‌توان این پوشش را بر روی آنها ایجاد کرد، از جمله می‌توان آهن، فولادهای کربنی، فولادهای زنگ‌نزن، آلومینیم و آلیاژهای آن، مس، منیزیم، شیشه و پلاستیک را نام برد[۳ و۴].

فولادهای زنگ نزن آستنیتی مواد اصلی ساخت بسیاری از تجهیزاتی هستند که نیاز به مقاومت در برابر خوردگی در محیطهای آبی دارند. این فولادها مقاومت به خوردگی بالایی دارند ولی از سختی سطح مناسبی برخوردار نیستند. در ضمن برای افزایش سختی سطح آنها نمی‌توان از عملیات حرارتی استفاده کرد. برای بهبود مقاومت به سایش و افزایش سختی در این نوع فولادها روشهای زیادی ارایه شده‌اند که می‌توان به روش CVD، پوشش دهی الکترولیتی اشاره کرد. در این میان استفاده از روش پوشش دهی بدون برق Ni-B-Tl بخاطر برخی از ویژگیهای آن از جمله ایجاد پوشش با سختی بالا و ضخامت یکنواخت رو به گسترش است [۵ و۶ و۷].

ایجاد پوشش بدون برق نیکل بر پایه احیاکننده هیپوفسفیت تاکنون اهمیت زیادی داشته است و اکنون تمایل به استفاده از احیاکننده بروهیدرات افزایش یافته است [۵ و۶]، زیرا یکی از مزایای اصلی

تاریخ وصول: ۸۶/۹/۱۸
تاریخ تصویب: ۸۷/۱۰/۳۰

مجید عبدلی، دانشجوی مقطع دکتری دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی سهند، madjid_abdeli@sut.ac.ir
دکتر نقی پروینی احمدی، دانشیار دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی سهند، parvini@sut.ac.ir
دکتر رسول آذری خسروشاهی، استادیار دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی سهند،khosroshahi@sut.ac.ir

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-12-17]

رسوبات بدون برق نیکل احیا شده توسط بروهیدرات سدیم، مقاومت به سایش زیاد آن است.

بروهیدرات سدیم از مهمترین احیاکننده‌ها، زیرا می تواند بیش از ۸ الکترون برای احیا اکثر فلزات فراهم کند در حالیکه این مقدار برای هیپوفسفیت سدیم ۲ است [۱ و۶ و۷].

آگاروالا [۸] و همکارانش نشان دادند که ۰/۶ کیلوگرم بروهیدرات سدیم برای احیا یک کیلوگرم نیکل کافی است، در حالیکه برای احیا همین قدر نیکل ۵ کیلوگرم هیپوفسفیت سدیم لازم است. برای کمک به واکنش احیا از پایدارکننده‌ها استفاده می‌شود. این مواد سبب تشکیل رسوب، فقط بر روی فلز پایه و رسیدن به یک سرعت رسوب‌گذاری قابل پیش‌بینی می‌شوند، زیرا مواد مزبور روی سطح ذرات کلوییدی محلول جمع می‌شوند و از احیا نیکل بر روی سطح آنها جلوگیری می‌کنند.

نیترات سرب و مرکاپتو بنزوتیازول دو نمونه از پایدارکننده‌های بسیار مناسب هستند. سانکارا[۶] و همکارانش نشان دادند که این پایدارکننده‌ها سرعت رسوب‌گذاری یونهای نیکل را کاهش می‌دهند. گزینه مناسب برای ایجاد حداکثر پایداری و سرعت رسوب‌گذاری بالا استفاده از نیترات تالیوم است. یونهای تالیوم علاوه بر ایجاد پایداری در حمام کارایی احیا بروهیدرات را نیز افزایش می‌دهند[۴].

استفاده از نیترات تالیوم به عنوان پایدارکننده منجر به رسوب همزمان Tl در پوشش و تشکیل پوشش سه تایی Ni-B-Tl می‌شود، وجود تالیوم تغییری در ویژگیهای مفید پوشش نداشته بلکه سبب بهتر شدن کیفیت ظاهری پوشش نیز می‌شود[۶ و۹]. دلانویس[۹] نشان داد که رسوبات تشکیل یافته در حمام نیکل بدون برق که در آن از بروهیدرات سدیم بعنوان پایدارکننده و نیترات تالیوم بعنوان پایدارکننده استفاده شده حاوی wt B% ۱۰- ۰/۵ و wt Tl% ۸-۱ هستند. سانکارا[۴]، کریشناوی[۷] و همکارانشان نشان دادند که با افزایش زمان پوشش دهی، ضخامت بطور خطی افزایش نمی یابد، زیرا پس از مدتی حمام اشباع از محصولات اکسیداسیون بروهیدرات می‌شود، در نتیجه سرعت رسوب‌گذاری کاهش می‌یابد.

سرعت رسوب‌گذاری و ضخامت پوشش با افزایش دمای کاری حمام زیاد می‌شود. وقتی محدوده دمایی حمام بین ۹۸-۸۰ ºC باشد، سرعت رسوب‌گذاری بطور خطی افزایش پیدا می‌کند. در دمای کمتر از ۸۵ºC پوشش وضع ظاهری مناسبی ندارد و در دمای بالاتر از ۹۸ºC حمام ناپایدار شده و تجزیه می‌شود[۱و۴و۱۰].

بنابراین دمای مناسب برای حمام های بدون برق نیکل بین ۸۵ تا ۹۸ºC است.واکنشهای اصلی رسوب‌گذاری که در حمام اتفاق می‌افتد عبارتند از [۱و۱۰]:

(واکنش۱)

$$2Ni^{2+} + BH_4^- + 4OH^- = 2Ni + BO_2^- + 2H_2O + 2H_2 \uparrow$$

(واکنش۲)

$$4Tl^+ + BH_4^- + 4OH^- = 4Tl + BO_2^- + 2H_2O + 2H_2 \uparrow$$

(واکنش۳)

$$BH_4^- + 2H_2O = 2B + 2OH^- + 5H_2 \uparrow$$

(واکنش۴)

$$BH_4^- + 4H_2O = B(OH)_4^- + 4H_2 \uparrow$$

(واکنش۵)

$$BH_4^- + H_3O^+ + 2H_2O = H_3BO_3 + 4H_2O$$

ریزسختی پوشش ایجاد شده با احیاکننده بروهیدرات در حالت بعد از پوشش دهی را با استفاده از عملیات حرارتی مناسب می‌توان به مقادیر بالاتری افزایش داد[۲و۴]. دلانویس[۹] نشان داد که عملیات حرارتی پوشش در دماهای پایین، تغییرات اساسی در ساختار پوشش ایجاد نکرده و فقط باعث چسبندگی بهتر پوشش با فلز پایه می‌شود. با عملیات حرارتی بلند مدت (۴۰-۳۰ هفته) در دمایی بین ۳۰۰ ºC-۲۰۰ به علت تشکیل ذرات بسیار ریز و پراکنده بوراید نیکل و آهن در پوشش مقدار ریزسختی افزایش می‌یابد[۹].

بررسی ویژگیهای پوشش آلیاژی Ni-B-Tl بر سطح فولاد ۳۱۶ زنگ نزن موضوعی است که مطالعه نشده و نیاز به تحقیقات فراوانی در این زمینه دارد.

هدف از انجام این تحقیق، ایجاد پوشش آلیاژی Ni-B-Tl بر سطح فولاد زنگ نزن ۳۱۶ با استفاده از بروهیدرات سدیم بعنوان احیاکننده و نیترات تالیوم بعنوان پایدارکننده و بررسی ساختار آن با تغییر مقدار شبه‌فلزات بُر و تالیوم در پوشش، بررسی تاثیر تغییرات زمان و دمای حمام روی سختی، ترکیب و سرعت رسوب پوشش است.

۲. روش تحقیق

برای انجام آزمایش نمونه‌هایی از جنس فولاد زنگ‌نزن AISI ۳۱۶ به ابعاد ۱×۱۰×۴۰ میلی‌متر استفاده شد. سطح نمونه‌ها بعد از چند مرحله سمباده‌زنی از وجود اکسیدهای ضخیم و سایر ترکیبات مزاحم پاک شد. چربی‌زدایی توسط استن بمدت ۳ دقیقه سپس سود ۲/۵N گرم (در دمای ۶۰ºC) بمدت ۱۵ دقیقه و مجددا استن با مدت زمان ۳ دقیقه انجام شد. برای اکسیدزدایی به ترتیب از محلولهای اسید کلریدریک ۳۰٪ بمدت ۲ دقیقه (در دمای محیط) و ۲۰٪ بمدت ۳۰ ثانیه (در دمای ۵۰ºC) استفاده شد. محلول پوشش دهی از ترکیب و شرایط ارایه شده در جدول ۱ تهیه شد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-12-17]

جدول ۱. ترکیب و شرایط آبکاری برای ایجاد پوشش Ni-B-Tl [۱۱].

کلرید نیکل	$NiCl_2.6H_2O$	۳۱g/l			
هیدروکسید سدیم	$NaOH$	۴۲g/l			
اتیلن دی آمین ۹۸٪	$N_2C_2H_8$	۵۲g/l			
بروهیدرات سدیم	$NaBH_4$	۱/۲g/l			
نیترات تالیوم	$TlNO_3$	۰/۰۲۲g/l			
pH	۱۴	دما	۷۵-۹۵ ºC	زمان	۲۰-۱۰۰ min

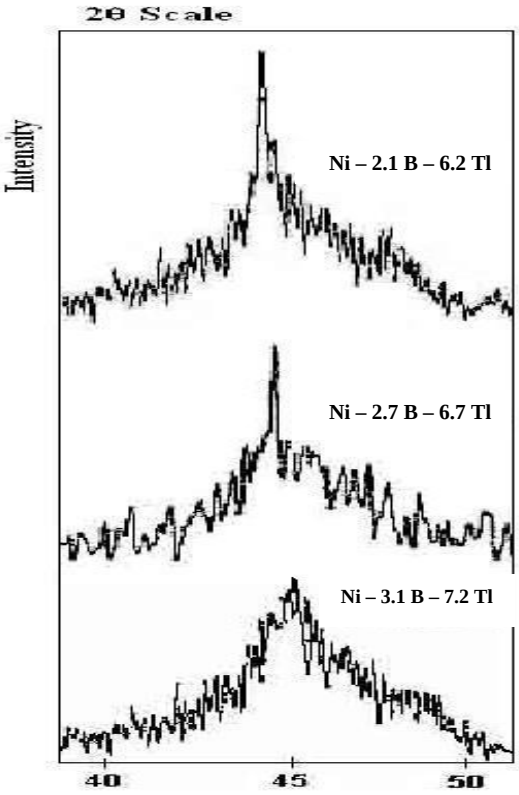
در این آزمایشات نسبت حجم محلول آبکاری به مساحت کل نمونه تقریبا ۲۵ ml/cm۲ بود. برای بررسی تاثیر دما و زمان پوشش دهی، نمونه‌ها در دماها و زمانهای متفاوتی پوشش دهی شدند. برای تعیین سرعت رسوب‌گذاری، وزن نمونه‌ها قبل و بعد از پوششکاری اندازه‌گیری شد. سرعت رسوب‌گذاری از تقسیم وزن پوشش ایجاد شده بر سطح کل نمونه بر واحد زمان تعیین شد. برای تعیین ریزسختی، آزمایش میکروسختی از سطح مقطع آنها بعمل آید. در آزمایش ریزسختی از نیروی ۱۰۰گرم بمدت زمان ۱۰ ثانیه استفاده شد. برای بررسی تاثیر مقدار بُر و تالیوم روی سختی و ساختار بلوری پوشش، تعدادی از نمونه‌ها ابتدا در حمام با دمای ۹۵ ºC بمدت یکساعت پوشش داده شده و سپس در دمای ۴۵۰ºC به مدت زمان یکساعت مورد عملیات حرارتی قرار گرفتند.

برای اندازه‌گیری ریزسختی از میکروسختی سنج ویکرز مدل Bohler، برای مطالعه مورفولوژی از میکروسکپ الکترونی جاروبی مدل LE04401، برای بررسی ساختار پوشش از دستگاه پراش اشعه X (XRD) مدل Siemens D5000 با طول موج Cu Kα و برای تعیین ترکیب شیمیایی آن، از دستگاه جذب اتمی مدل GBC XM استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

شکل ۱ الگوی تفرق اشعه X پوشش نیکل- بُر-تالیوم در حالت بعد از پوشش دهی را نشان می دهد. پیک پهنی که در $\theta = ۴۵^o$ ۲ دیده می شود حاکی از آمورف بودن پوشش است، در واقع این پوشش آمورف متشکل از بلورهای بسیار ریز نیکل (در حد نانومتر) و محلولهای جدایش‌یافته بُر و تالیوم است[۴و۶]. در این شکل الگوی تفرق مربوط به ۳ پوشش با درصدهای مختلف B و Tl دیده می‌شود. مقدار جدایش شبه‌فلزات بُر و تالیوم روی مقدار و اندازه این بلورها تاثیر زیاد دارد، بطوریکه با افزایش درصد وزنی بُر و تالیوم در پوشش، تعداد ذرات ریز بلوری افزایش می‌یابد[۴و۶]،

در نتیجه ساختار نمونه به سمت حالت آمورف میل می‌کند. ریزسختی نمونه در این حالت (بعد از پوشش دهی) بطور متوسط ۶۵۰ $HV_{۱۰۰}$ است.

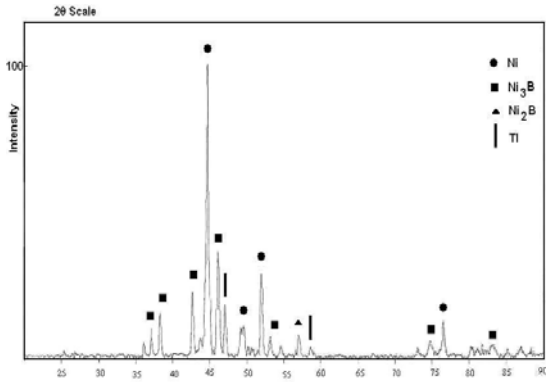


شکل۱. تاثیر مقدار بُر و تالیوم روی الگوی XRD پوششNi-B-Tl در حالت بعد از پوشش دهی و بدون عملیات حرارتی.

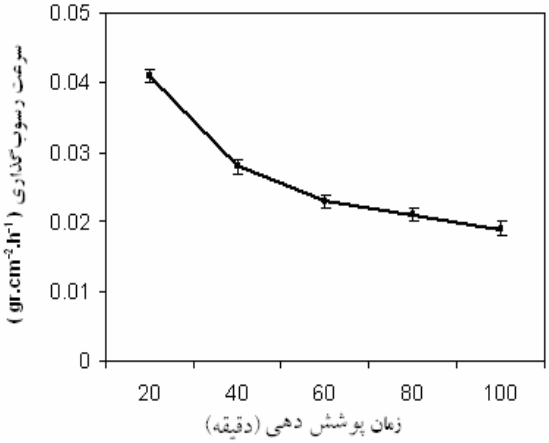
شکل ۲ الگوی XRD پوشش بعد از عملیات حرارتی را نشان می‌دهد (یکساعت در دمایºC ۴۵۰). در این شکل تعدادی پیک مربوط به Ni، Tl، Ni_3B و Ni_2B که در حالت قبل از عملیات حرارتی وجود نداشتند، مشاهده می‌شود، که حاکی از بلوری شدن پوشش است. ریزسختی پوشش در این حالت (بعد از عملیات حرارتی) بطور متوسط ۱۰۰۰$HV_{۱۰۰}$ است که مربوط به تشکیل فازهای Ni۲B و بویژه Ni۳B است [۱، ۲، ۴ ، ۶ و ۹].

سرعت رسوب گذاری پوششهای الکترولس Ni-B-Tl بر اساس تابعی از زمان در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهند که با افزایش زمان پوشش دهی، سرعت رسوب گذاری کاهش می یابد. با افزایش زمان پوشش دهی، غلظت محصولات حاصل از اکسیداسیون بروهیدرات سدیم در حمام افزایش می یابد و در نتیجه با افزایش اکسیدهای مزبور سرعت پوشش دهی کم می‌شود [۱، ۲، ۷،۶ و ۹].

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-12-17]



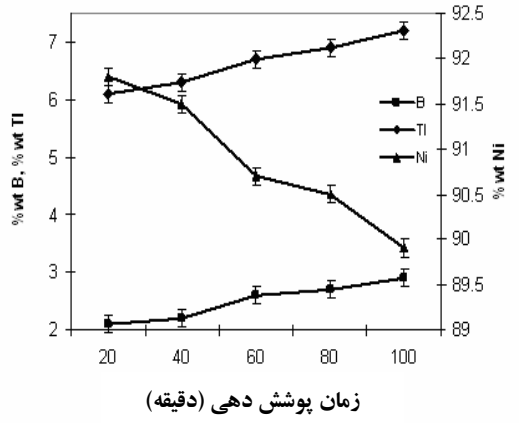
شکل۲. الگوی XRD پوشش Ni-B-Tl با ترکیب شیمیایی Ni – 2.1 B – 6.2 Tl در حالت بعد از عملیات حرارتی (یک ساعت ۴۵۰°C).



شکل۳. سرعت رسوب‌گذاری پوشش Ni-B-Tl بر اساس تابعی از زمان پوشش دهی.

مطابق شکل ۴ بنظر می رسد که درصد وزنی یون نیکل با افزایش زمان پوشش دهی کاهش ولی درصد وزنی دو یون بر و تالیم افزایش می یابند و لیکن مطابق معادلات ۱ تا ۳ [۱و۱۰] و نتایج عملی حاصله، احیای هر سه یون مزبور با افزایش زمان پوشش دهی در اثر کاهش غلظت عامل احیا کننده (BH_4^-) با سرعتهای متفاوت کاهش می یابند و به دلیل اینکه سرعت کاهش نیکل بیشتر از سرعت کاهش دو یون دیگر(بر و تالیم) است[۱۱]، از اینرو تاثیر نهایی آن بصورتی حاصل می شود که برای یونهای بر و تالیم روند افزایشی و برای یونهای نیکل روند کاهشی مشاهده می‌شود.

وقتی که ساختار پوشش بلوری نبوده و به شکل آمورف است، سختی پوشش تحت تاثیر مقدار نیکل تغییر می‌کند، در واقع در پوشش‌های آمورف نیکل بدون برق با افزایش مقدار نیکل، سختی پوشش افزایش می‌یابد [۴، ۶ و ۹].

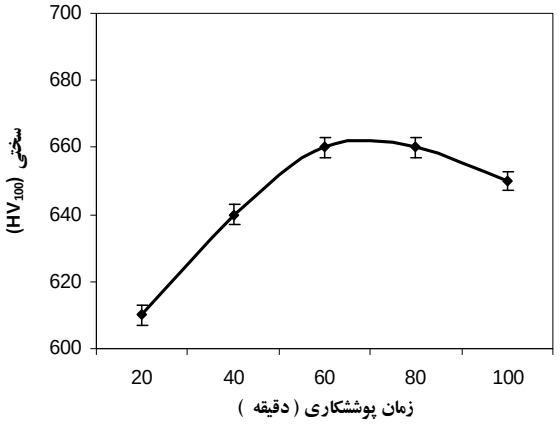


شکل۴. تاثیر زمان پوشش دهی روی درصد وزنی نیکل، بُر و تالیوم در پوشش

با افزایش زمان پوشش دهی درصد وزنی بُر و تالیوم افزایش یافته بنابراین ریزسختی باید کاهش پیدا کند پس در زمانهای ۲۰ و ۴۰ دقیقه که پوشش از بیشترین مقدار نیکل برخوردار است باید ریزسختی بیشتری نسبت به زمانهای دیگر حاصل شود ولی بنظر می رسد از آنجاییکه ضخامت آن اندازه به کافی زیاد نیست، ریزسختی نمی‌تواند مقدار قابل توجهی داشته باشد (شکل ۵).

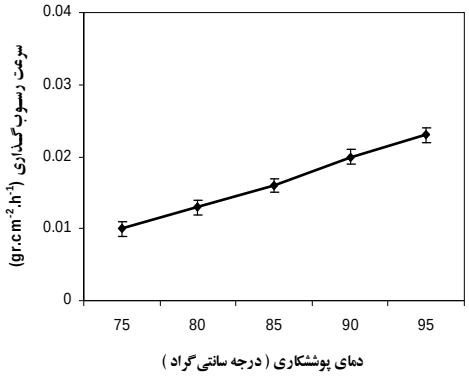
کاهش ریز سختی پوشش با افزایش زمان (زمانهای بیشتر از ۶۰ دقیقه) می تواند بخاطر کاهش فشردگی و تراکم و یکنواختی پوشش باشد. در واقع با پیشرفت واکنشهای حمام، اجزای مضری همچون محصولات اکسیداسیون بروهیدرات سدیم در پوشش قرار می گیرند [۱۰].

شکل ۶ تاثیر دمای حمام بر سرعت رسوب‌گذاری در مدت زمان یکساعت را نشان می‌دهد. با افزایش دما، سرعت رسوب گذاری افزایش پیدا می کند زیرا همه واکنشهای اکسیداسیون و احیا احتیاج به انرژی حرارتی دارند و با افزایش دما، این انرژی تامین می شود [۱۰].



شکل۵. تاثیر زمان پوشش دهی روی ریزسختی پوشش Ni-B-Tl

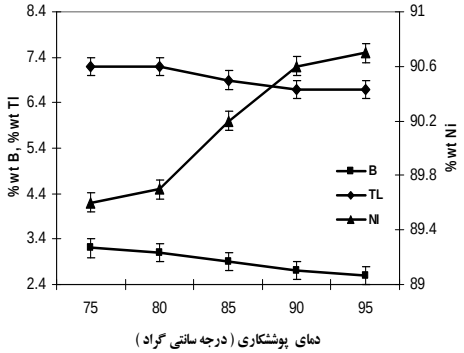
[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-12-17]



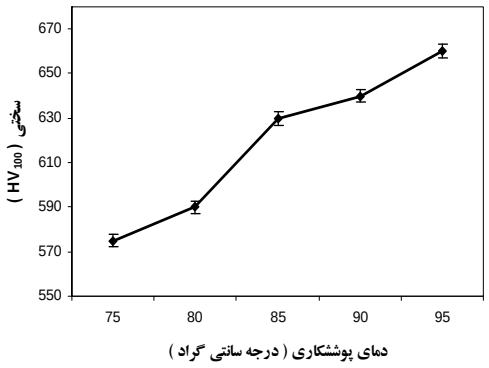
شکل۶. سرعت رسوب‌گذاری بر اساس تابعی از دما (زمان یکساعت).

شکل ۷ تاثیر دمای پوشش‌دهی بر درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده پوشش را نشان می‌دهد، با توجه به این شکل، بنظر می‌رسد که درصد وزنی یون نیکل با افزایش دمای پوشش‌دهی افزایش ولی درصد وزنی بر و تالیم کاهش می‌یابد، ولیکن با توجه به اینکه با افزایش دما سرعت واکنشهای اکسیداسیون و احیا افزایش می‌یابند[۱۰]، احیا سه یون مزبور با افزایش دمای پوشش دهی با سرعتهای متفاوتی افزایش می یابد و به دلیل اینکه سرعت احیا نیکل با افزایش دمای پوشش دهی بیشتر از سرعت احیا دو یون دیگر(بر و تالیم) است[۱۱]، از اینرو تاثیر نهایی آن بصورتی حاصل می شود که در شکل ۷ برای یونهای بر و تالیم روند کاهشی و برای یونهای نیکل روند افزایشی مشاهده می‌شود. با افزایش دما و در نتیجه کاهش درصد وزنی بُر و تالیوم، مشابه بحث مربوط به زمان پوشش‌دهی، ریزسختی پوشش افزایش می‌یابد (شکل ۸).

شکل ۹ تصویر تهیه شده از سطح پوشش در حالت بعد از پوشش دهی و قبل از عملیات حرارتی توسط میکروسکپ الکترونی جاروبی را نشان می‌دهد. همانطوریکه مشاهده می‌شود رسوبات بصورت یکنواخت در تمام سطح نمونه پخش شده اند و شکلی شبیه گل کلم به خود گرفته‌اند (شکل ۱۰).

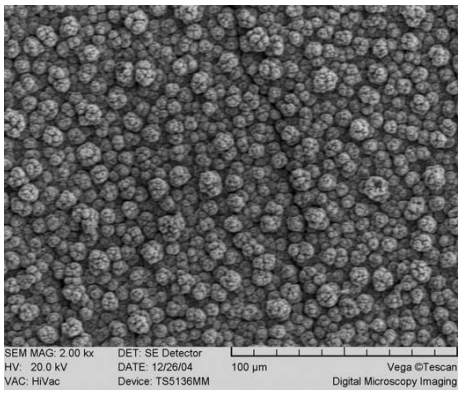


شکل۷. تاثیر دمای پوشش‌دهی روی درصد وزنی نیکل، بُر و تالیوم پوشش در مدت زمان یکساعت.

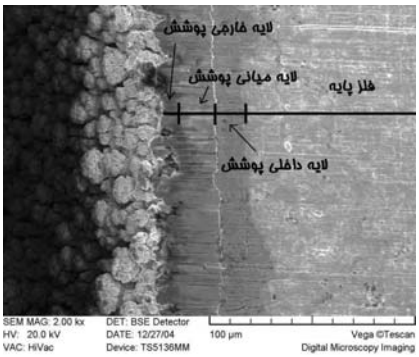


شکل۸. تاثیردمای پوشش دهی روی ریزسختی پوشش Ni-B-Tl در مدت زمان یکساعت.

با توجه به شکل ۱۰ پوشش ایجاد شده به سه لایه کاملا مشخص قابل تقسیم است: لایه داخلی، لایه میانی و لایه خارجی. همچنین بنظر می رسد که لایه خارجی نسبت به دو لایه دیگر (داخلی و میانی) از تراکم و فشردگی کمتری برخوردار است؛ که علت آن می تواند بخاطر وجود ناخالصیهایی بیشتری همچون محصولات اکسیداسیون برخی اجزای حمام نسبت به قسمتهایی از پوشش که در زمانهای اولیه پوشش دهی تشکیل شده اند، باشد.



شکل۹. تصویر میکروسکپ الکترونی جاروبی از سطح پوشش درحالت بعد از پوشش دهی و قبل از عملیات حرارتی.



شکل۱۰. تصویر میکروسکپ الکترونی جاروبی از مقطع پوشش Ni-B-Tl.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-12-17]

۴. نتیجه گیری

با افزایش درصد وزنی بُر و تالیوم ساختار بلوری به حالت آمورف میل می‌کند. عملیات حرارتی در دمای ۴۵۰°C بمدت یک ساعت باعث افزایش ریزسختی به اندازه ۱/۵ برابر می‌شود که علت آن مربوط به تشکیل فازهای Ni_2B و بویژه Ni_3B است.

در زمانهای اولیه پوشش دهی با وجود اینکه پوشش از بیشترین مقدار نیکل برخوردار است و باید ریزسختی بیشتری نسبت به زمانهای دیگر حاصل شود ولی بنظر می رسد از آنجاییکه ضخامت آن اندازه به کافی زیاد نیست، ریزسختی نمی‌تواند مقدار قابل توجهی داشته باشد. با افزایش زمان پوشش دهی (زمانهای بیشتر از ۶۰ دقیقه) درصد وزنی بُر و تالیوم در پوشش افزایش می‌یابد که این امر باعث کاهش ریزسختی می‌شود.

با افزایش دمای حمام پوشش دهی، درصد وزنی بُر و تالیوم در پوشش کاهش می‌یابد که می تواند یکی از دلایل افزایش ریزسختی پوشش باشد.

منابع

[1] Delaunios, F., Petitejean, J.P., Lienard, P., Jacob-Duliere; M., *Autocatalytic Electro less Nickel-Boron Plating on Light Alloys*; Surface and Coating Technology 124, 2000, PP. 201-209.

[2] Dervos, C.T., Novakovic, J., Vassiliou; P., *Vacuum Heat Treatment of Electro less Ni-B Coatings;* Materials letters 58, 2004, PP.619- 623.

[3] Nicholas, M., Martyak, *Kerry Drake; Peak-Profile Analysis of Nickel Coatings*; Journal of Alloy and Compounds 312, 2000, PP. 30-40.

[4] Sankara Narayanan, T.S.N., Krishnaveni, K., Seshadri; S.K., *"Electroless Ni-P/Ni-B Duplex Coatings: Preparation and Evaluation of Micro Hardness*, wear and corrosion resistance; Materials Chemistry and Physics 82, 2003, PP. 771-779.

[5] Parvini Ahmadi, N., Khosroshahi, R.A., Abdeli; M., *A Study of the Chemical Composition and Heat Treatment of Electro Less Ni-B-Tl Alloy Coating on AISI 316 Stainless Steel*, International journal of ISSI, Vol. 2, No. 2, 2005, PP 19-24.

[6] Sankara Narayanan, T.S.N., Seshadri; S.K., *Formation and Characterization of Borohydride Reduced Electro Less Nickel Deposits*; Journal of alloy and compounds 365, 2004, PP. 197-205.

[7] Krishnaveni, K., Sankara Narayanan, T.S.N., Seshadri; S.K., *Elecrtoless Ni-B Coatings: Preparation and Evaluation of Micro Hardness*, wear and corrosion resistance; Surface & Coatings Technology 190, 2005, PP. 115– 121.

[8]Agarwala, R.C., Agarwala; V., *Electroless Alloy/Composite Coating; Sadhana*, Vol. 28, Parts 3 & 4, June/August 2003, PP. 475-493.

[9] Delaunois, F., Lienard; P., *Heat Treatment for Electroless Nickel-Boron plating on Aluminum Alloys*; Surface and coating technology 160, 2002, PP. 239-248.

[10] Riedel; W., Electroless Nickel Plating; ASM International, 1991.

[۱۱] عبدلی، مجید.، "ایجاد پوشش الکترولس Ni-B-Tl بر روی فولاد ۳۱۶ و بررسی تاثیر عاملهای مختلف روی ویژگیهای آن"؛ پایاننامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه صنعتی سهند؛ آبان ۱۳۸۴.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-12-17]