

تأثیر زمان کندوپاش پرتو یونی بر خواص ساختاری، چسبندگی و خوردگی پوشش نانوساختار نیتريدزیر کونیوم بر روی آلیاژ AZ91

سیدرحیم کیا حسینی^{۱*}، عبدالله افشار^۲، مجید مجتهدزاده لاریجانی^۳ و مردعلی یوسف پور^۴

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، تهران، ایران

۲- استاد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی و علم مواد، تهران، ایران

۳- دانشیار، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران

۴- استادیار، دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی مواد و صنایع، گروه مهندسی مواد، سمنان، ایران

* rkiahoseyni@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۱۹)

چکیده

در این تحقیق تأثیر لایه نازک نیتريدزیر کونیوم (ZrN) بر روی آلیاژ منیزیم AZ91 به عنوان ماده زیست سازگار مورد مطالعه قرار گرفته است. به این منظور لایه نازک ZrN به روش کندوپاش فعال پرتو یونی بر روی زیرلایه از جنس آلیاژ منیزیم AZ91 در زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه ایجاد گردید. به منظور تعیین ضخامت لایه‌ها از دستگاه پروفایل‌متر و جهت ساختار پوشش از پرتو پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده گردید. چسبندگی لایه به روش نفوذ فرورونده خارجی تعیین شد. رفتار خوردگی نمونه‌های لایه‌نشانی شده به روش پلاریزاسیون پتانسیودینامیک بررسی گردید. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش زمان لایه‌نشانی، ضخامت لایه افزایش یافته و چسبندگی لایه به زیرلایه و مقاومت به خوردگی نمونه‌ها، کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی:

کندوپاش پرتو یونی، لایه نازک نیتريدزیر کونیوم، خوردگی، زمان لایه نشانی

۱-مقدمه

بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱-۳]. پوشش ZrN پایداری حرارتی و مقاومت به خوردگی بهتری نسبت به سایر پوشش‌های سخت معروف نظیر TiN دارد. خواص فیزیکی لایه‌های نازک به ساختار میکروسکوپی آنها نظیر نسبت اتمی، درجه بلورینگی، جهت ترجیحی و... بستگی دارد که این عوامل به مکانیزم جوانه‌زنی و رشد لایه وابسته است [۱]. روش‌های لایه-

پوشش‌های سخت به منظور افزایش مقاومت به سایش و خوردگی مواد مورد استفاده قرار می‌گیرند. نیتريد و کاربید فلزات واسطه مقاومت به سایش را تا حد زیادی افزایش می‌دهند، به همین دلیل در ابزارهای برش و شکل‌دهی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱-۲]. نیتريدزیر کونیوم (ZrN) خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خوبی دارد، لذا در سال‌های اخیر

محلول الکل اتیلیک و استون تحت عملیات التراسونیک قرار گرفتند. از سیستم کندویاش پرتو یونی مدل MBM-100 با خلاء اولیه $Pa \times 10^{-3} \times 3/87$ استفاده گردید. لایه نشانی در زمان های ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه در دمای $673K$ انجام شد. فشار محفظه در حین کندویاش به وسیله ورود گازهای Ar و N_2 با خلوص (۹۹/۹۹٪) و نسبت $\frac{N_2}{N_2+Ar} = 58\%$ به $Pa \times 10^{-2} \times 1/1$ رسید. بعد از لایه نشانی ضخامت پوشش نیتريدزیرکونیوم با استفاده از پروفایل متر مکانیکی مدل Dektak 3 اندازه گیری شد. ساختار کریستالی پوشش به وسیله دستگاه XRD بررسی گردید و سپس ضریب بافت از رابطه ۱ و ۲ محاسبه شد [۱۱-۱۲]. در این روابط $I(hkl)$ شدت پیک پراش اشعه ایکس مربوط به صفحه موردنظر است.

$$T.C_{(222)} = \frac{I_{(222)}}{\sum I_{(hkl)}} \quad (1)$$

$$T.C_{(111)} = \frac{I_{(111)}}{\sum I_{(hkl)}} \quad (2)$$

برای این منظور به وسیله نرم افزار Fityk شدت پیک های مربوط به پوشش ZrN تعیین گردید و در نهایت در روابط مذکور جایگذاری شد. جهت محاسبه پارامتر شبکه از رابطه براگ (۳) و فرمول پارامتر شبکه ساختار مکعبی (۴) در بیشترین زوایای پراش استفاده گردید [۱۳].

$$n\lambda = 2d \sin(\theta) \quad (3)$$

$$d = \frac{a}{\sqrt{(h^2+k^2+l^2)}} \quad (4)$$

در این روابط $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ طول موج اشعه ایکس، $n=1$ تعداد صفحات متوالی حاضر در پراش، d فاصله صفحات کریستالی، θ زاویه شدیدترین پیک حاصل از پراش پرتو ایکس، h, k, l اندیس مربوط به صفحه دارای شدیدترین پیک حاصل از پراش و a پارامتر شبکه کریستالی می باشد.

نشانی می تواند بر روی ساختار میکروسکوپی و خواص مکانیکی پوشش ZrN تاثیرگذار باشد [۴]. لایه نازک نانوبلوری ZrN رفتار جالب توجهی دارد. نانوبلورهای با اندازه کمتر از $100 \mu m$ خواص بسیار متفاوتی نسبت به پوشش های با دانه های بلوری بیشتر از $100 \mu m$ دارا هستند. با آنکه مطالعات زیادی بر روی لایه نازک نیتريد فلزات واسطه انجام شده است، ولی اطلاعات اندکی در مورد خواص لایه های با بلورهای نانومتری خصوصاً لایه ZrN وجود دارد [۵]. در این تحقیق به بررسی اثر زمان لایه نشانی بر اندازه دانه و ریز ساختار لایه ZrN و اثر آن بر روی خواص خوردگی زیرلایه از جنس آلیاژ منیزیم AZ91 پرداخته خواهد شد. منیزیم یکی از فلزات ساختاری بسیار سبک است و آلیاژهای پایه منیزیم استحکام بالایی در حدود 480 GPa/g/cm^3 دارند [۶-۷]. منیزیم و آلیاژهای آن برای بدن انسان غیر سمی هستند و می تواند احتمال بیماری فشار خون بالا و مشکلات قلبی را کاهش دهد. ثابت شده است که آزاد شدن یون منیزیم (Mg^+) تا حدودی که برای بدن نیاز است و می تواند در بهبود بافت استخوان موثر باشد. متأسفانه خوردگی سریع آلیاژ منیزیم [۸] در محلول دارای یون کلر مانند محلول بدن انسان یا پلاسما خون مشکل ساز است. در نتیجه باید سرعت تجزیه پذیری مناسب باشد یا به عبارتی سرعت بحرانی باید طوری باشد تا بافت آسیب دیده بتواند بطور کامل بهبود یابد [۹-۱۰]. به همین دلیل در این تحقیق رفتار خوردگی نمونه های AZ91 لایه نشانی شده به وسیله ZrN در زمان های مختلف در محیط نزدیک به پلاسما خون بدن مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق از یک صفحه زیرکونیوم (Zr) با خلوص ۹۹٪ به عنوان هدف کندویاش استفاده گردید. لایه نشانی بر روی آلیاژ منیزیم AZ91 ریخته گری شده در ماسه با ترکیب شیمیایی ذکر شده در جدول ۱ انجام شد.

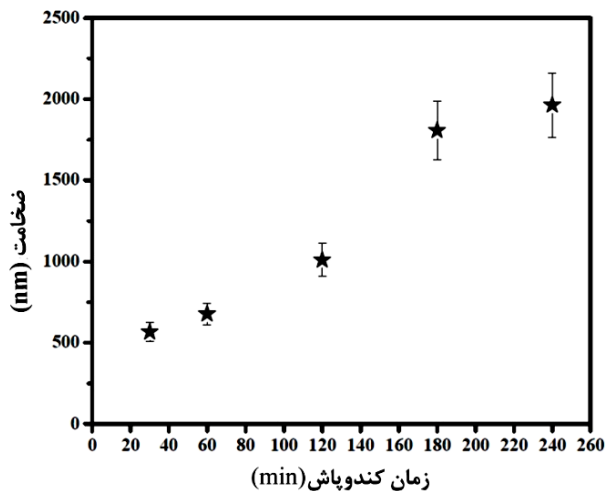
زیرلایه های با ابعاد $10 \times 10 \times 3 \text{ mm}$ پس از آماده سازی سطحی و چربی زدایی به وسیله الکل، به مدت یک ساعت در

جدول (۱): ترکیب شیمیایی آلپاژ منیزیم AZ91 (درصد وزنی)

عنصر	Mg	Al	Mn	Zn	Si	Cu	Ni	Be	Ca
درصد	۸۹/۴۵	۹/۵۱	۰/۰۳۳۳	۰/۹۵۶	۰/۰۳۵۸	<۰/۰۰۳۰	<۰/۰۱۰۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۰

۳- نتایج و بحث

تغییرات ضخامت لایه نیتريدزیرکونیوم بر حسب زمان لایه-نشانی در شکل ۱ نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد با افزایش زمان لایه‌نشانی، ضخامت لایه افزایش می‌یابد. به دلیل اینکه با افزایش زمان لایه‌نشانی، ذرات بیشتری بر روی سطح رسوب می‌نمایند لذا ضخامت لایه افزایش می‌یابد. در نرخ ثابت لایه‌نشانی و در شرایط ثابت چنانچه زمان لایه‌نشانی تغییر نماید بر روی میزان رسوب ذرات تأثیرگذار است. این تغییرات می‌تواند نرخ رشد بلورها را تغییر دهد و در نتیجه بر روی ریزکرنش، اندازه بلورها و سایر خواص پوشش موثر باشد.



شکل (۱): تغییرات ضخامت لایه نیتريدزیرکونیوم با زمان لایه‌نشانی

شکل ۲ نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس از لایه‌های نیتريدزیرکونیوم در زمان‌های مختلف لایه‌نشانی را نشان می‌دهد. پیک‌های مربوط به لایه ZrN با تطبیق کارت پراش استاندارد PDF2: 00-002-0956 تعیین گردید و پیک‌هایی که اندیس آنها مشخص نشده است، مربوط به زیرلایه (منیزیم) و اکسید زیرلایه (اسپینل) می‌باشند. همانطور که مشاهده می‌گردد با افزایش زمان لایه‌نشانی، از شدت پیک-

به این ترتیب به وسیله الگوی پراش پرتو ایکس و ترکیب روابط ۳ و ۴، پارامتر شبکه طبق رابطه ۵ محاسبه گردید.

$$a = \frac{(n\lambda)(\sqrt{h^2+k^2+l^2})}{2 \sin(\theta)} \quad (5)$$

اندازه دانه و کرنش بلورها با استفاده از رابطه ویلیامسون - هال [۱۴] بدست آمد (رابطه ۶).

$$(\Delta K)^2 = \left(\frac{0.9}{D_{WH}}\right)^2 + 4e^2 K^2 \quad (6)$$

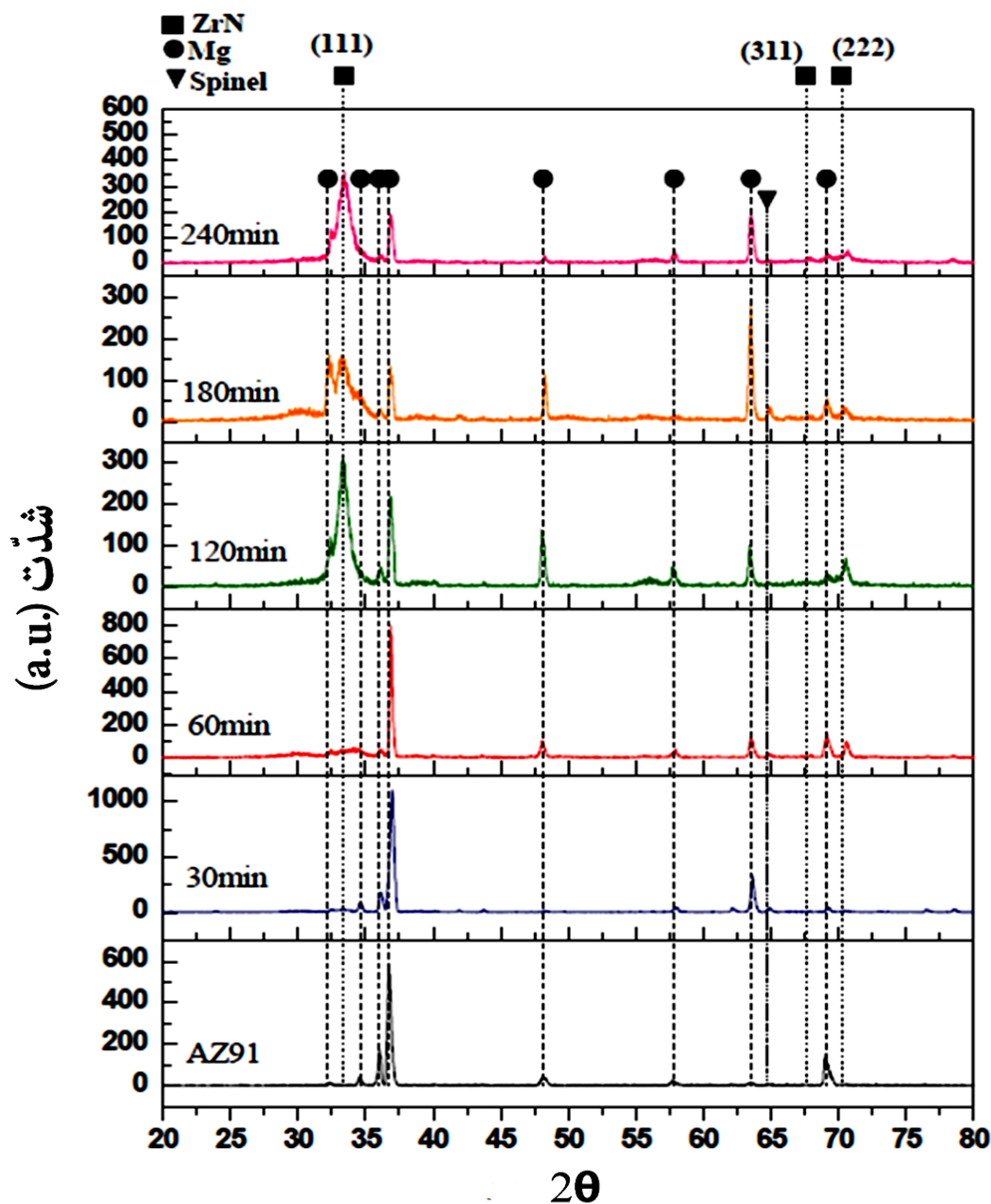
در این رابطه $\Delta K = 2 \cos \theta \beta_C / \lambda$ ، β_C پهنای پیک در نصف ارتفاع، θ زاویه براگ، λ طول موج اشعه CuK_{α} (1.54Å) و $K = 2 \sin \theta / \lambda$ می‌باشد

چسبندگی لایه به زیرلایه به وسیله دستگاه سختی سنج راکول بدست آمد. در این روش تغییرات نیروی اعمالی به شعاع ترک ایجاد شده در پوشش (dp/dr) به عنوان تناسب قابل قبولی از چسبندگی، مورد استفاده قرار گرفته است. جزئیات روش در تحقیق J.Kim بیان شده است [۱۵].

به منظور بررسی مقاومت به خوردگی پوشش‌های اعمال شده، آزمون پتانسیودینامیک برای تمامی نمونه‌های لایه‌نشانی شده انجام گردید. برای این منظور از دستگاه پتانسیوآستات مدل EG&G A273 استفاده شده است. محلول مورد استفاده محلول استریل رینگر و الکتروود شمارنده، یک میله پلاتینی به قطر ۲mm و طول ۴۰cm بود. از الکتروود کالومل اشباع نیز به منظور اندازه‌گیری پتانسیل استفاده گردید. نمونه‌ها پس از یک ساعت غوطه‌وری در محلول، با سرعت روبش ۱mV/sec مورد آزمایش قرار گرفتند.

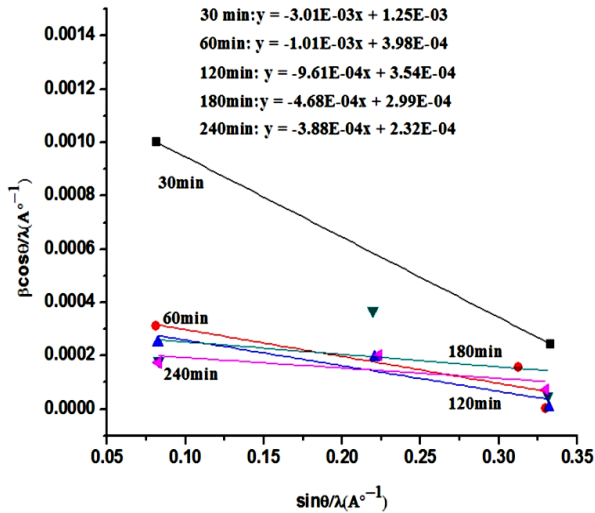
تطابق دارد. در نتیجه می توان استدلال نمود که رشد ترجیحی در پوشش های رسوب داده شده وجود ندارد و جهات رشد مشابه پودر استاندارد ZrN است.

های مربوط به زیرلایه کاسته می شود که مبین افزایش ضخامت لایه است. در همه نمونه ها پیک های (۱۱۱) و (۲۲۲) به وضوح قابل مشاهده هستند. در شکل ۳ جهت یابی پوشش ZrN نشان داده شده است. در همه نمونه ها بیشترین شدت مربوط به صفحه (۱۱۱) می باشد که با کارت XRD ساختار ZrN



شکل (۲): الگوهای پراش پرتو ایکس از سطح پوشش های نیتريدزیر کونیوم لایه نشانی شده با درصد نیتروژن ۵۸٪ و دمای ۴۰۰°C در مدت زمانهای ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه.

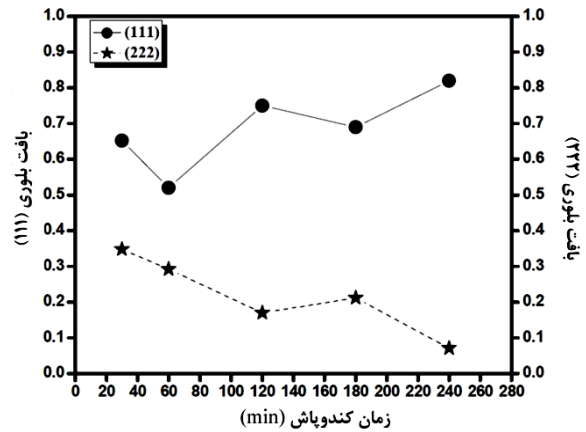
در شکل ۵ نقاط بدست آمده از تحلیل XRD پوشش‌های نیتريدزیرکونیوم به روش ویلیامسون- هال نشان داده شده است. همه نمونه‌ها دارای شیب منفی می‌باشند که مبین وجود کرنش فشاری در شبکه بلوری است.



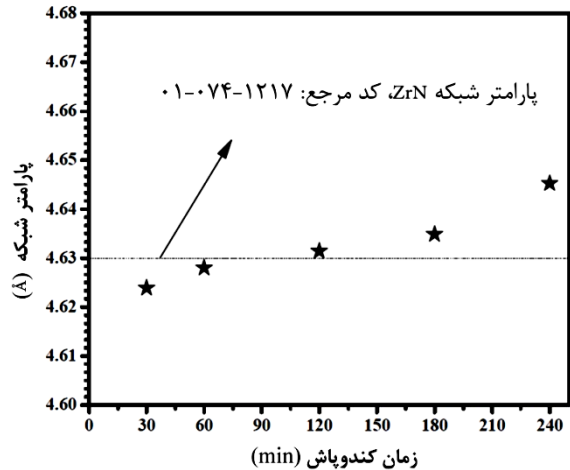
شکل (۵): نمودار ویلیامسون- هال جهت محاسبه اندازه بلور و ریز کرنش نمونه‌های لایه‌نشانی شده در زمان‌های مختلف

در شکل ۶ تغییرات اندازه بلورهای نیتريدزیرکونیوم بر حسب زمان لایه‌نشانی نشان داده شده است. کوچکترین اندازه دانه مربوط به نمونه لایه نشانی شده به مدت ۳۰ دقیقه می‌باشد که حدود ۱۸nm است و بیشترین اندازه دانه مربوط به نمونه لایه-نشانی شده به مدت ۲۴۰ دقیقه است که حدود ۴۸nm می‌باشد. با افزایش زمان لایه‌نشانی، اولاً ذرات بیشتری بر روی سطح زیرلایه رسوب می‌کنند، ثانیاً زمان بیشتری برای نفوذ ذرات و رشد بلورها وجود دارد. از آنجایی که دمای لایه‌نشانی برای نفوذ کافی می‌باشد، انتظار می‌رود در دمای ثابت، زمان لایه-نشانی بر روی اندازه بلورها تأثیر مستقیم داشته باشد. طبق رابطه ۷، Zhinan An و همکارانش ثابت کرده‌اند که با افزایش اندازه بلورها، نرخ رشد آنها کاهش می‌یابد [۱۷].

$$\frac{D}{dt} = A\left(\frac{1}{D} - kD\right) \quad (7)$$



شکل (۳): تغییرات بافت بلوری لایه‌های نیتريد زیرکونیوم نسبت به زمان لایه‌نشانی



شکل (۴): تغییرات پارامتر شبکه نیتريد زیرکونیوم نسبت به زمان لایه‌نشانی

شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش زمان لایه‌نشانی پارامتر شبکه نیتريدزیرکونیوم افزایش می‌یابد. افزایش پارامتر شبکه ناشی از حضور بیشتر نیتروژن در شبکه نیتريدزیرکونیوم است. این نتایج می‌تواند نفوذ بیشتر اتم‌های نیتروژن با افزایش زمان را نشان دهد. طبق تحقیق Qi و همکارانش [۴] و Chen و همکارانش [۱۶]، در ساختار ZnN اتم‌های نیتروژن به صورت بین نشین در شبکه زیرکونیوم قرار گرفته است، لذا درصد استوکیومتری پوشش ZnN می‌تواند بر روی پارامتر شبکه حاصل موثر باشد. به عبارتی با افزایش زمان لایه نشانی فضاهای خالی مربوط مکان‌های نیتروژن کاهش می‌یابد.

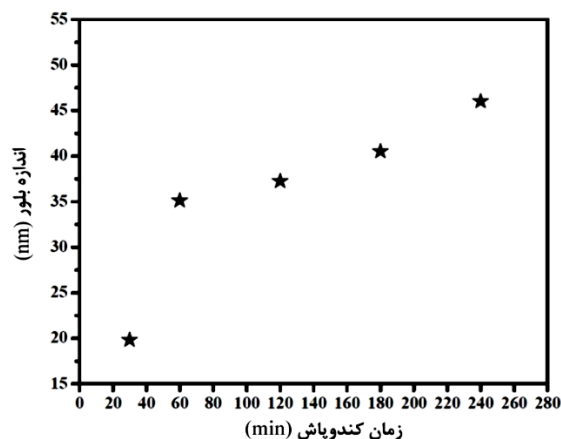
نیز به صفر نزدیک تر گردیده است که مبین نزدیک تر شدن شبکه کریستالی ZrN لایه به ترکیب استوکیومتری بدون تنش است.

تصویر میکروسکوپ نوری و تغییرات شعاع ترک (r) ایجاد شده بر روی پوشش در اطراف منطقه اثر فرورونده دستگاه سختی سنج بر حسب نیروی فرورونده (P) در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به شیب خطوط عبور داده شده از نقاط حاصل از آزمایش چسبندگی به روش فرورونده برای نمونه-های مختلف لایه نشانی شده، نسبت dp/dr محاسبه گردید. شکل ۹ تغییرات dp/dr به عنوان پارامتر متناسب با چسبندگی، بر حسب زمان لایه نشانی را نشان می دهد. با افزایش زمان لایه-نشانی چسبندگی لایه به زیرلایه کاهش یافته است. نتایج مشابهی در تحقیق D. Sheeja و همکارانش [۱۹] و Khun و همکارانش [۲۰] در مورد پوشش کربنی گزارش شده است. با افزایش ضخامت لایه به دلیل اینکه تنش پسماند در آن افزایش می یابد، لذا استحکام چسبندگی فصل مشترک لایه و زیرلایه کاهش می یابد [۱۹-۲۰]. همچنین کاهش شیب منفی منحنی های بدست آمده به روش ویلیامسون - هال در شکل ۵ نشان دهنده کاهش کرنش فشاری در لایه ZrN با افزایش زمان لایه نشانی می باشد. با توجه به خواص مکانیکی مواد، وجود کرنش های فشاری پسماند، در کاهش رشد ترک نقش موثری دارند. در نتیجه با کم شدن میزان ریزکرنش فشاری در لایه، مقاومت آن در برابر تغییر شکل الاستیک زیرلایه در هنگام حذف نیروی فرورنده سختی سنج کاهش می یابد. انرژی کرنش کل ذخیره شده در لایه (U) در واحد سطح آن به صورت رابطه (۸) نشان داده می شود [۲۱]:

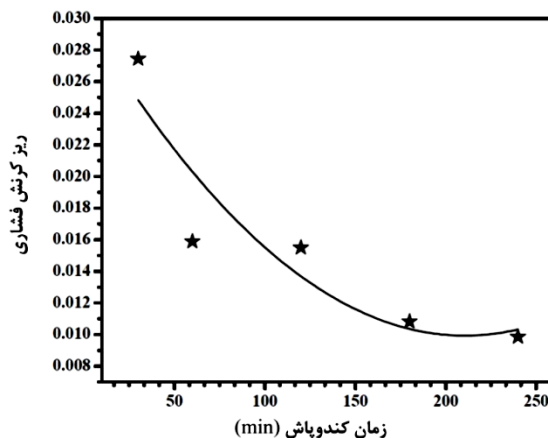
$$U = \frac{\sigma^2 d}{2E} \quad (8)$$

در این رابطه σ تنش موجود در لایه، d ضخامت لایه و E مدول یانگ می باشند. مشاهده می شود ضخامت لایه و تنش پسماند رابطه مستقیم با انرژی کرنش ذخیره شده در لایه دارند.

در این رابطه \bar{D} اندازه متوسط ذرات، t زمان لایه نشانی، A ثابت تناسب و k فاکتور اندازه دانه می باشد. در شکل ۶ مشاهده می گردد که تغییرات اندازه بلورها در زمان های اولیه بیشتر از زمان های طولانی تر لایه نشانی است.

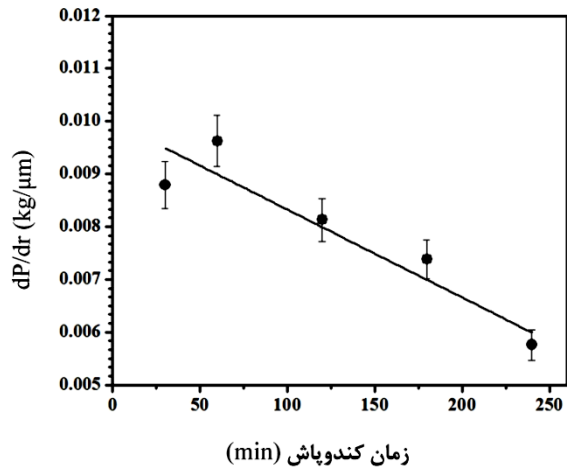


شکل (۶): تغییرات اندازه بلورهای نیتريد زیرکونیوم نسبت به زمان لایه نشانی



شکل (۷): تغییرات میکروکرنش در لایه نیتريد زیرکونیوم نسبت به زمان لایه نشانی

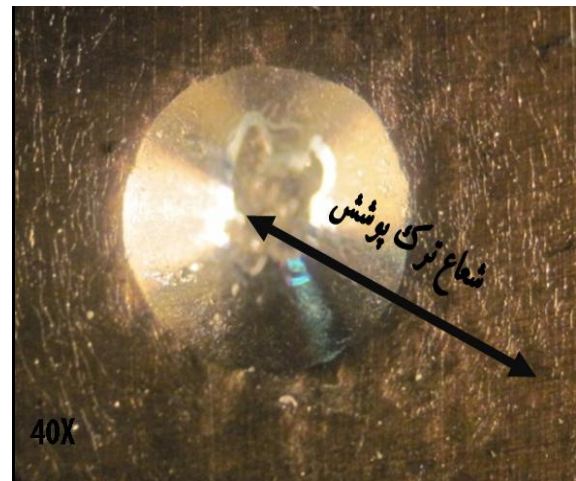
تغییرات ریزکرنش شبکه ای بر حسب زمان لایه نشانی در شکل ۷ نشان داده شده است. مشاهده می گردد که با افزایش زمان لایه نشانی از ریزکرنش های شبکه ای کاسته شده و در زمان های طولانی تر شیب تغییرات کاهش می یابد. طبق تحقیقات Wieder پارامتر شبکه و ریزکرنش با هم رابطه دارند [۱۸]، لذا با افزایش زمان لایه نشانی و تغییر در پارامتر شبکه، ریزکرنش



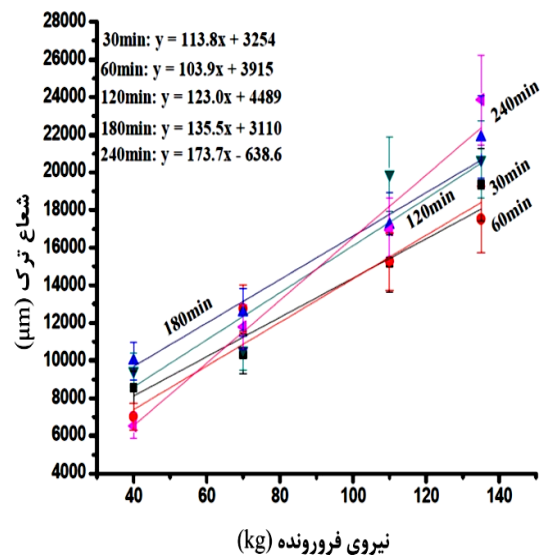
شکل (۹): تغییرات dP/dr متناسب با چسبندگی لایه نیتريدزیر کونیوم به زیر لایه بر حسب زمان لایه نشانی.

نتایج حاصل از آزمون خوردگی پلاریزاسیون در محلول رینگر استریل در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نمودار پلاریزاسیون AZ91 و نمونه‌های لایه نشانی شده دارای شاخه‌های آندی و کاتدی می‌باشد و هیچ نوع رفتار روئینگی (پسیو) در این نمودارها مشاهده نمی‌گردد. نتایج حاصل از تحلیل پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در شکل ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. در شکل ۱۱ مشاهده می‌گردد که با ایجاد لایه ZrN بر روی آلیاژ منیزیم AZ91 پتانسیل خوردگی مثبت‌تر شده است. تغییرات پتانسیل خوردگی در نمونه‌ای که ۲۴۰ دقیقه لایه نشانی شده است حدود 20 mV مثبت‌تر از AZ91 می‌باشد. با وجود اینکه بعد از لایه نشانی، پتانسیل خوردگی نمونه‌ها مثبت‌تر شده است، ولی جریان خوردگی در نمونه‌های لایه نشانی شده در زمان‌های ۳۰ و ۲۴۰ دقیقه بیشتر از زیر لایه است (شکل ۱۲). احتمالاً در نمونه ۳۰ دقیقه به دلیل عدم پوشش مناسب لایه و در نمونه ۲۴۰ دقیقه به دلیل چسبندگی نامناسب لایه به زیر لایه (رابطه ۸)، آندهای موضعی در روی سطح، دانسته جریان خوردگی را افزایش داده است. در تحقیق $Khun$ بر روی لایه کربنی، یکی از عوامل موثر در کاهش سرعت خوردگی به وسیله لایه‌های نازک، کاهش و یا حذف آندهای موضعی بیان شده است [۲۰]. نمونه لایه نشانی شده در

در نتیجه با افزایش ضخامت، انرژی کرنش افزایش یافته و در نتیجه چسبندگی لایه کاهش می‌یابد. J.Takadom و همکارانش نشان داده‌اند که در لایه‌های ضخیم، U به قدری افزایش می‌یابد که لایه از روی زیر لایه جدا می‌گردد [۲۱].

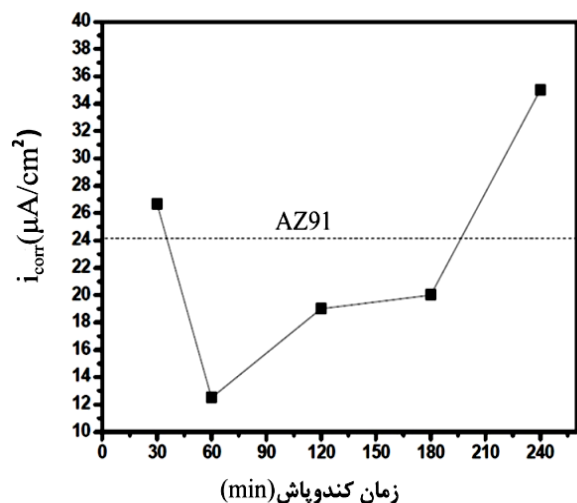


(الف)



(ب)

شکل (۸): (الف) تصویر اثر فرورونده و ترک‌های ایجاد شده بر روی پوشش ZrN با نیروی 135 kg مربوط به نمونه ۱ ساعت لایه نشانی شده، (ب) نمودار شعاع ترک ایجاد شده بر حسب نیروی فرورونده



شکل (۱۲): دانسیته جریان خوردگی لایه نیتريدزیر کونیم بر حسب زمان لایه‌نشانی در محلول رینگر

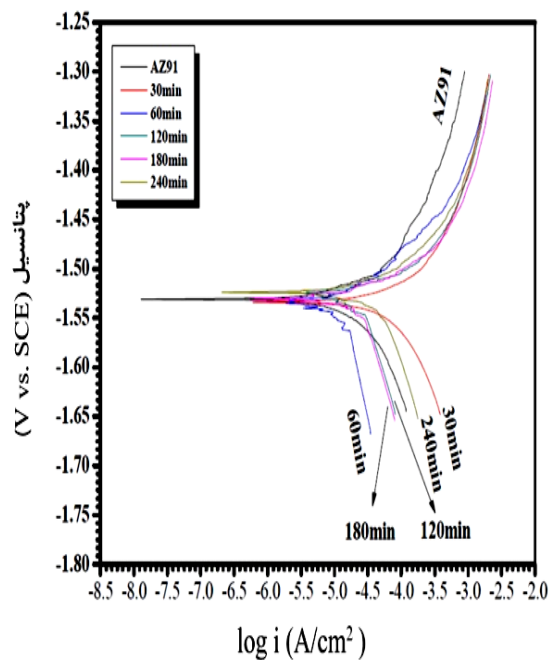
۴- نتیجه‌گیری

- ۱- ضخامت لایه ZrN تحت تاثیر زمان لایه‌نشانی، می‌تواند بر روی ریزساختار، چسبندگی و خوردگی نمونه‌ها تاثیرگذار باشد.
- ۲- رشد بلورهای ZrN رابطه خطی با زمان لایه‌نشانی ندارد و در زمان‌های طولانی‌تر و رسیدن اندازه بلورها به اندازه ماکزیمم، شیب رشد بلورها کم می‌شود.
- ۳- زمان لایه‌نشانی بهینه بر روی پارامتر شبکه ZrN تاثیرگذار است و آنرا به مقدار استوکیومتری نزدیک می‌نماید.
- ۴- پوشش ZrN باعث مثبت‌تر شدن پتانسیل خوردگی آلیاژ AZ91 می‌گردد.
- ۵- عدم لایه‌نشانی یکنواخت در زمان‌های کم و ایجاد عیوبی نظیر ترک، تنش پسماند و غیره در زمان‌های بیشتر لایه‌نشانی بر روی جریان خوردگی تاثیرگذار هستند.

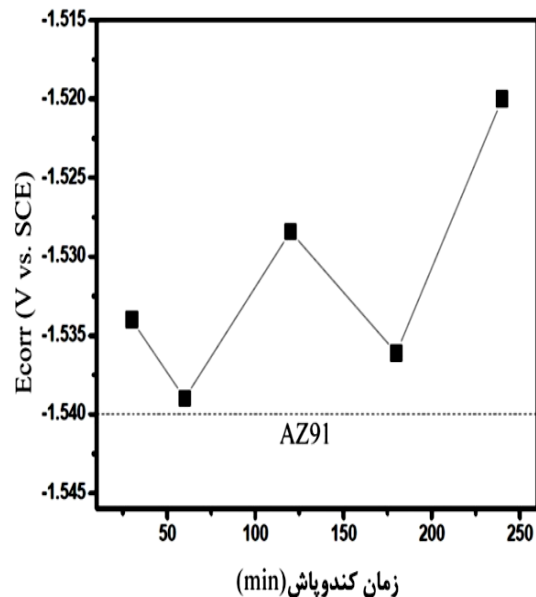
۵- مراجع

- [1] H. Jiménez, E. Restrepo & A. Devia, "Effect of the substrate temperature in ZrN coatings grown by the pulsed arc technique studied by XRD", Surf. Coat. Technol., Vol.201, pp. 1594-1601, 2006.
- [2] M. M. Larjani, N. Tabrizi, S. Norouziyan, A. Jafari, S. Lahouti, H.H. Hosseini & N. Afshari, "Structural and mechanical properties of ZrN films prepared by ion beam sputtering with varying N_2/Ar ratio and

زمان ۶۰ دقیقه به دلیل اینکه دارای چسبندگی مناسب‌تری است لذا مقاومت به خوردگی بهتری را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): نمودار پلاریزاسیون پتانسیودینامیک آلیاژ AZ91 لایه‌نشانی شده به وسیله نیتريدزیر کونیم در زمان‌های مختلف لایه‌نشانی در محلول رینگر



شکل (۱۱): پتانسیل خوردگی لایه نیتريدزیر کونیم بر حسب زمان لایه‌نشانی در محلول رینگر

- [12] J.S. Jeng, J.S. Chen, "Effects of substrate bias and nitrogen flow ratio on the surface morphology and binding state of reactively sputtered ZrN_x films before and after annealing", *Applied Surface Science* Vol.255 pp. 8263–8269, 2009.
- [13] K. Sarmah, R. Sarma & H.L. Das, "Correlative assessment of structural and photoelectrical properties of thermally evaporated CdSe thin films", *Journal of Non-Oxide Glasses*, Vol.1, pp. 143-156, 2009.
- [14] M. Kalita, K. Deka, J. Das, N. Hazarika, P. Dey, R. Das, S. Paul, T. Sarmah & B. Sarma, "X-ray diffraction line profile analysis of chemically synthesized lead sulphide nanocrystals", *Mater. Lett.*, Vol.87, pp. 84–86, 2012.
- [15] J. Kim, J. Jeong, K. Lee & D. Kwona, "A new indentation cracking method for evaluating interfacial adhesion energy of hard films", *Thin Solid Films* Vol.441, pp. 172–179, 2003.
- [16] N. Chen, Y. Wang, H. He & L. Lin, "Effects of point defects on lattice parameters of semiconductors", *PHYS. REV B*, Vol.54, pp. 1996.
- [17] Z. An, H. Ding, Q. Meng & Y. Rong, "Kinetic equation of the effect of thickness on grain growth in nanocrystalline films", *Scripta Materialia*, Vol.61, pp. 1012–1015, 2009.
- [18] T. Wieder, "WVM: A computer program for the determination of lattice parameters and strains in thin films", *Computer Physics Communications*, Vol.96, pp. 53-60, 1996.
- [19] D. Sheeja, B.K. Tay, K.W. Leong & C.H. Lee, "Effect of film thickness on the stress and adhesion of diamond-like carbon coatings", *Diam Relat Mater*, Vol.11 pp. 1643–1647, 2002.
- [20] N.W. Khun, E. Liu, "Investigation of structure, adhesion strength, wear performance and corrosion behavior of platinum/ruthenium/nitrogen doped diamond-like carbon thin films with respect to film thickness", *Mater Chem Phys*, Vol. 126 pp. 220–226, 2011.
- [21] J. Takadom, H.H. Bennani, "Influence of substrate roughness and coating thickness on adhesion, friction and wear of TiN films", *Surf. Coat. Technol.*, Vol.96 pp. 272-282, 1997.
- substrate temperature ", *Vacuum*, Vol.81, pp. 550-555, 2006.
- [3] M. M.Larijani, S. Norouzian & R. Afzalzade, "Effects of post annealing on micro and nanostructural properties of ZrN films prepared by ion beam sputtering technique on SS304", *Surf. Coat. Technol.*, Vol.203, pp. 2486–2489, 2009.
- [4] Z. Qi, R. Huang, F. Zhu, P. Sun & Z. Wang, "Effect of Substrate Temperature on Structure and Mechanical Properties of ZrN Coatings", *Adv. Mater. Res.*, Vol.154-155, pp. 1664-1667, 2011.
- [5] J.H. Huang, H.C. Yang, X.J. Guo & G.P. Yu, "Effect of film thickness on the structure and properties of nanocrystalline ZrN thin films produced by ion plating", *Surf. Coat. Technol.*, Vol.195, pp. 204–213, 2005.
- [6] M. Tomozawa, S. Hiromoto & Y. Harada, "Microstructure of hydroxyapatite-coated magnesium prepared in aqueous solution", *Surf. Coat. Technol.*, Vol.204, pp. 3243–3247, 2010.
- [7] H. Altun, H. Sinici, "Corrosion behaviour of magnesium alloys coated with TiN by cathodic arc deposition in NaCl and Na₂SO₄ solutions", *Mater. Charact.*, Vol.59, pp. 266 – 270, 2008.
- [8] W. Guo-Song, W. Ai-Ying, D. Ke-Jia, X. Cai-Yun, D. Wei & X. Ai-Jiao, "Fabrication of Cr coating on AZ31 magnesium alloy by magnetron sputtering", *Trans. of Nonferrous Met. Soc. of China*, Vol.18, pp. 329-333, 2008.
- [9] C. Wen, S. Guan, L. Peng, C. Ren, X. Wang & Z. Hu, "Characterization and degradation behavior of AZ31 alloy surface modified by bone-like hydroxyapatite for implant applications", *Appl. Surf. Sci.*, Vol.255, pp. 6433–6438, 2009.
- [10] H. Altun, S. Sen, "The effect of DC magnetron sputtering AlN coatings on the corrosion behaviour of magnesium alloys", *Surf. Coat. Technol.*, Vol.197, pp. 193–200, 2005.
- [11] V. Chawla, R. Jayaganthan & R. Chandra, "Structural characterizations of magnetron sputtered nanocrystalline TiN thin films", *MATER CHARACT*, Vol.59, pp. 1015-1020, 2008.