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

سيدرحيم كياحسيني"، عبدالله افشار"، مجيد مجتهدزاده لاريجاني" و مردعلي يوسف پور

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
 ۳- استادیار، دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی مواد و صنایع، گروه مهندسی مواد، سمنان، ایران
 ۳- استادیار، دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، کرج، ایران
 ۳- دانشیار، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی پزشکی و صنعتی، پژوه مهندسی مواد، تهران، ایران
 ۳- دانشیار، پژوه شکده تحقیقات کشاورزی پزشکی و صنعتی، پژوه شگاه علوم و فنون هسته ای، کرج، ایران
 ۳- دانشیار، پژوه میان دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی مواد و صنایع، گروه مهندسی مواد، سمنان، ایران
 ۳۰ استادیار، دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی مواد و صنایع، گروه مهندسی مواد، سمنان، ایران
 ۳۰ (تاریخ دریافت: ۲۰/۱۳۹۲/۰۲/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۱۹)

چکیدہ

در این تحقیق تاثیر لایه نازک نیتریدزیرکونیوم (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، ۱۸۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه ایجاد گردید. به منظور تعیین ضخامت لایهها از دستگاه پروفایل متر و جهت ساختار پوشش از پرتو پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده گردید. چسبندگی لایه به روش نفوذ فررونده 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 می یابد.

واژههای کلیدی:

کندوپاش پرتو یونی، لایه ناز ک نیتریدزیر کونیوم، خوردگی، زمان لایه نشانی

۱-مقدمه

پوشش های سخت به منظور افزایش مقاومت به سایش و خوردگی مواد مورد استفاده قرار می گیرند. نیترید و کاربید فلزات واسطه مقاومت به سایش را تا حد زیادی افزایش می-دهند، به همین دلیل در ابزارهای برش و شکل دهی مورد استفاده قرار می گیرد[۱-۲]. نیتریدزیر کونیوم (ZrN) خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خوبی دارد، لذا در سال های اخیر

بسیار مورد توجه قرار گرفته است[۱-۳]. پوشش ZrN پایداری حرارتی و مقاومت به خوردگی بهتری نسبت به سایر پوشش-های 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- محلول الکل اتیلیک و استون تحت عملیات التراسونیک قرار \mathcal{R} فتند. از سیستم کندوپاش پرتو یونی مدل MBM-100 با خلاء اولیه Pa "۱۰^{-۳} ۲۸۷ استفاده گردید. لایه نشانی در زمانهای ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ ۲۰ ۲۰ ۲۰ و ۲۴۰ دقیقه در دمای ۶۷۳K وزمانهای ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ و ۱۴۰ دقیقه در دمای ۶۷۳K وزمانهای ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ و قیفه در حین کندوپاش به وسیله ورود گازهای Ar و گازهای Ar و \mathcal{R} با خلوص (۹۹/۹۹٪) و نسبت گازهای Ar و گازهای ۲۰ ما با خلوص (۹۹/۹۰٪) و نسبت مکه خامت پوشش نیتریدزیرکونیوم با استفاده از پروفایل متر مخامت پوشش به وسیله دستگاه Dektak 3 برسی گردید و سپس ضریب مکانیکی مدل 3 Ram (۱۰۰ ادازه گیری شد. ساختار کریستالی پوشش به وسیله دستگاه MR بررسی گردید و سپس ضریب آرانهای از رابطه ۱ و محاسبه شد[۱۰–۱۲]. در این روابط (۱۸)

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

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

برای این منظور به وسیله نرم افزار Fityk شدت پیکهای 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].

$$n\lambda = 2d\sin(\theta) \tag{(r)}$$

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

در این روابط $\lambda=1.54$ 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,lاندیس مربوط به صفحه دارای شدیدترین پیک حاصل از پراش و a پارامتر شبکه کریستالی میباشد. نشانی می تواند بر روی ساختار میکروسکویی و خواص مكانيكى يوشش ZrN تاثير گذار باشد[۴]. لايه نازك نانوبلورى ZrN رفتار جالب توجهي دارد. نانوبلورهاي با اندازه کمتر از ۱۰۰µm خواص بسیار متفاوتی نسبت به پوشش های با دانههای بلوری بیشتر از ۱۰۰µm دارا هستند. با آنکه مطالعات زيادى بر روى لايه نازك نيتريد فلزات واسطه انجام شده است، ولى اطلاعات اندكى در مورد خواص لايههاى با بلورهای نانومتری خصوصاً لایه ZrN وجود دارد[۵]. در این تحقیق به بررسی اثر زمان لایهنشانی 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 ۴۸۰ GPa/g/cm³ دارند[۷-۶]. منیزیم و آلیاژهای آن برای بدن انسان غیر سمی هستند و میتواند احتمال بيماري فشار خون بالا و مشكلات قلبي را كاهش 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 پلاسمای 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 نمونههای AZ91 لایه نشانی شده به وسیله ZrN در زمانهای مختلف در محیط نزدیک به پلاسمای خون بدن مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-روش تحقيق

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

زیرلایههای با ابعاد mm ۳×۱۰×۱۰ پس از آماده سازی سطحی و چربی زدایی به وسیله الکل، به مدت یک ساعت در

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

عنصر	Mg	Al	Mn	Zn	Si	Cu	Ni	Be	Ca
درصد	84/40	٩/۵١	•/•٣٣٣	•/909	•/•۳۵٨	>./٣.	>./.\	•/•••¥	•/••9•

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

اندازه دانه و کرنش بلورها با استفاده از رابطه ویلیامسون – هال[۱۴] بدست آمد (رابطه۶).

$$(\Delta K)^2 = (\frac{0.9}{D_{WH}})^2 + 4e^2 K^2 \tag{9}$$

در این رابطه $\beta_{\rm C}$ ، $\Delta {\rm K}=2\cos\theta_{\rm C}$ ، پیک در نصف ارتفاع، θ زاویه براگ، طول موج اشعه ${\rm CuK}_{lpha}$ (1.54Å) و $K = 2\sin\theta$ 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 یان شده است[10].

به منظور بررسی مقاومت به خوردگی پوشش های اعمال شده، آزمون پتانسیودینامیک برای تمامی نمونه های لایه نشانی شده انجام گردید. برای این منظور از دستگاه پتانسیواستات مدل EG&G A273 استفاده شده است. محلول مورد استفاده محلول استریل رینگر و الکترود شمارنده، یک میله پلاتینی به قطر ۲mm و طول ۴۰cm بود. از الکترود کالومل اشباع نیز به منظور اندازه گیری پتانسیل استفاده گردید. نمونه ها پس از یک ساعت غوطه وری در محلول، با سرعت روبش ۱mV/sec مورد آزمایش قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث تغییرات ضخامت لایه نیتریدزیر کونیوم بر حسب زمان لایه-نشانی در شکل ۱ نشان داده شده است. مشاهده می گردد با افزایش زمان لایهنشانی، ضخامت لایه افزایش مییابد. به دلیل اینکه با افزایش زمان لایهنشانی، ذرات بیشتری بر روی سطح زاینکه با افزایش زمان لایهنشانی، درات بیشتری بر روی سطح نابت لایهنشانی و در شرایط ثابت چنانچه زمان لایهنشانی تغییر نماید بر روی میزان رسوب ذرات تاثیر گذار است. این تغییرات میتواند نرخ رشد بلورها را تغییر دهد و درنتیجه بر روی ریز کرنش، اندازه بلورها و سایر خواص پوشش موثر باشد.



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

www.SID.ir

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 جهتیابی پوشش ZrN نشان داده شده است. در همه نمونه ها بیشترین شدت مربوط به صفحه (۱۱۱) می باشد که با کارت XRD ساختار XrN

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



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

www.SID.ir



شکل ۴ نشان می دهد که با افزایش زمان لایهنشانی پارامتر شکل ۴ نشان می دهد که با افزایش زمان لایهنشانی پارامتر شبکه نیتریدزیر کونیوم افزایش می یابد. افزایش پارامتر شبکه ناشی از حضور بیشتر نیتروژن در شبکه نیتریدزیر کونیوم است. این نتایج می تواند نفوذ بیشتر اتمهای نیتروژن با افزایش زمان را نشان دهد. طبق تحقیق Qi و همکارانش [۴] و Chen و مکارانش [۶۲]، در ساختار ZrN اتمهای نیتروژن به صورت بین نشین در شبکه زیر کونیوم قرار گرفته است، لذا درصد استو کیومتری پوشش ZrN می تواند بر روی پارامتر شبکه حاصل موثر باشد. به عبارتی با افزایش زمان لایه نشانی فضاهای خالی مربوط مکانهای نیتروژن کاهش می یابد.

در شکل ۵ نقاط بدست آمده از تحلیل XRD پوشش های نیتریدزیرکونیوم به روش ویلیامسون – هال نشان داده شده است. همه نمونه ها دارای شیب منفی می باشند که مبین وجود کرنش فشاری در شبکه بلوری است.



صرمه. نمودار ویمیمسون- من جهت محاسبه اندازه بغور و ریز نریس نمونههای لایهنشانی شده در زمانهای مختلف

در شکل ۶ تغییرات اندازه بلورهای نیتریدزیر کونیوم بر حسب زمان لایهنشانی نشان داده شده است. کوچکترین اندازه دانه مربوط به نمونه لایه نشانی شده به مدت ۳۰ دقیقه میباشد که حدود ۱۸۱۳ است و بیشترین اندازه دانه مربوط به نمونه لایه-نشانی شده به مدت ۲۴۰ دقیقه است که حدود ۴۸۱۳ میباشد. با افزایش زمان لایهنشانی، اولاً ذرات بیشتری بر روی سطح زیرلایه رسوب می کنند، 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 تاثیر مستقیم داشته باشد. طبق رابطه نشانی بر روی اندازه بلورها تاثیر مستقیم داشته باشد. طبق رابطه اندازه بلورها، نرخ رشد آنها کاهش مییابد[۷].

$$\frac{\overline{D}}{dt} = A(\frac{1}{\overline{D}} - k\overline{D}) \tag{V}$$

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



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

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 لایهنشانی شده، نسبت dP/dr محاسبه گردید. شکل ۹ تغییرات dP/dr به عنوان پارامتر متناسب با چسبندگی، بر حسب زمان لايه نشاني را نشان مي دهد. با افزايش زمان لايه-نشانی چسبندگی لایه به زیرلایه کاهش یافته است. نتایج مشابهی در تحقیق D. Sheeja و همکارانش [۱۹] و و همکارانش [۲۰] در مورد یوشش کربنی گزارش شده است. با افزایش ضخامت لایه به دلیل اینکه تنش پسماند در آن افزایش می یابد، لذا استحکام چسبندگی فصل مشتر ک لایه و زیرلایه کاهش مییابد[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 لايەنشانى مىباشد. با توجە بە خواص مكانىكى 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 مییابد. انرژی کرنش کل ذخیره شده در لایه (U) در واحد سطح آن به صورت رابطه (۸) نشان داده می شود [۲۱]:

$$U = \frac{\sigma^2 d}{2E} \tag{(A)}$$

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



نتايج حاصل از آزمون خوردگی پلاريزاسيون در محلول رینگر استریل در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نمودار يلاريزاسيون AZ91 و نمونههاي لايهنشاني شده داراي شاخه-های آندی و کاتدی میباشد و هیچ نوع رفتار روئینگی(پسیو) در این نمودارها مشاهده نمی گردد. نتایج حاصل از تحلیل یلاریزاسیون پتانسیودینامیک در شکل ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. در شکل ۱۱ مشاهده می گردد که با ایجاد لایه ZrN بر روى آلياژ منيزيم AZ91 يتانسيل خوردگى مثبت تر شده است. تغییرات پتانسیل خوردگی در نمونهای که ۲۴۰ دقیقه لايهنشاني شده است حدود ۲۰mV مثبت تر از AZ91 مي-باشد. با وجود اینکه بعد از لایهنشانی، پتانسیل خوردگی نمونه-ها مثبت تر شده است، ولي جريان خوردگي در نمونه هاي لايه-نشانی شده در زمانهای ۳۰ و ۲۴۰ دقیقه بیشتر از زیرلایه است(شکل ۱۲). احتمالاً در نمونه ۳۰ دقیقه به دلیل عدم یوشش مناسب لایه و در نمونه ۲۴۰ دقیقه به دلیل چسبندگی نامناسب لایه به زیرلایه(رابطه ۸)، آندهای موضعی در روی سطح، دانسیته جریان خوردگی را افزایش داده است. در تحقیق Khun بر روی لایه کربنی، یکی از عوامل موثر در کاهش سرعت خوردگی به وسیله لایه های نازک، کاهش و یا حذف آندهای موضعی بیان شده است[۲۰]. نمونه لایهنشانی شده در

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



(الف)



شکل(۸): الف) تصویر اثر فرورونده و ترکهای ایجاد شده بر روی پوشش ZrN با نیروی ۱۳۵kg مربوط به نمونه ۱ ساعت لایه نشانی شده ، ب) نمودار شعاع ترک ایجاد شده بر حسب نیروی فرورونده

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



شکل(۱۰): نمودار پلاریزاسیون پتانسیودینامیک آلیاژ AZ91 لایه نشانی شده به وسیله نیتریدزیرکونیوم در زمانهای مختلف لایه نشانی در محلول ر ینگر





٤- نتیجه گیری
۱- ضخامت لایه ZrN تحت تاثیر زمان لایه نشانی، می-تواند بر روی ریز ساختار، چسبندگی و خوردگی نمونه ها تاثیر گذار باشد.
۲- رشد بلورهای ZrN رابطه خطی با زمان لایه نشانی ندارد و در زمان های طولانی تر و رسیدن اندازه بلورها به اندازه ماکزیمم، شیب رشد بلورها کم می شود.
۳- زمان لایه نشانی بهینه بر روی پارامتر شبکه ZrN تاثیر گذار است و آنرا به مقدار استو کیومتری نزدیک می نماید.
۴- پوشش ZrN باعث مثبت تر شدن پتانسیل خوردگی آلیاژ AZ91 می گردد.
۵- عدم لایه نشانی یکنواخت در زمان های کم و ایجاد

 ۵- عدم لایهنشانی یکنواخت در زمان های کم و ایجاد عیوبی نظیر ترک، تنش پسماند و غیره در زمان های بیشتر لایه-نشانی بر روی جریان خوردگی تاثیر گذار هستند.

٥- مراجع

- 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.Larijani, N. Tabrizi, S. Norouzian, A. Jafari, S. Lahouti, H.H. Hosseini & N. Afshari, "Structural and mechanical properties of ZrN films prepared by ion beam sputtering with varying N₂/Ar ratio and

www.SID.ir

- [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 ZrNx 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. Takadoum, 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.