

مطالعه مقاومت خوردگی پوششهای نانو ساختار کاربید زیرکونیم

رویا روحانی'، هادی عادل خانی*′، محسن اسدی اسد آباد′، مجید منجمی′

^۱ گروه شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ۲ پژوهشکده مواد و سوخت هستهای، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، تهران

*hadelkhani@aeoi.org.ir

چكىدە:	اطلاعات مقاله:
در این تحقیق پوشش های نانوساختار کاربید زیرکونیم (ZrC) بر روی زیرکونیم با روش الکترولیـز از نمـک	دریافت: ۶/۴/۶ ۱۳۹۵
مـذاب در دمـای ۲۳°۷۷۲ در چگـالی جریـانهـای مختلـف (۳۸۰ mA/cm و ۱۲۰) تهیـه شـده اسـت.	پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۳۰
مشخصهیابی پوششرها با روشرهای طیف پراش اشعه XRD)X، میکروسکوپ الکترونی روبـشی (SEM)	
،طیف سنج تفکیک انرژی پرتو ایکس (EDX) و طیف سنج مادون قرمزتبدیل فوریـه (FTIR) انجـام شـد.	·***/- 1.15
مطالعات خوردگی نمونهها با استفاده از آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیکی در محلولی حاوی بوریک اسـید	<i>ليد ورد.</i>
و لیتیم هیدروکسید با pH=6.85 انجام شد. ایجاد پوشش کاربید زیرکونیم با اســتفاده از روشهـای XRD،	پوشش کاربید زیرکونیم، الکترولیـز،
FTIR و EDX تایید گردید. نتایج نشان میدهد که ایجاد پوشش کاربید زیرکونیم در سطح زیرکونیم باعث	نمک مذاب،الکتروکریستالیزاسیون،
افزایش مقاومت خوردگی و گسترده تر شدن محدوده روئین شدگی آن میشود. چگالی جریان رسـوبدهـی	مقاومت خوردگی، XRD
الکتروشیمیایی تاثیر زیادی بر الکتروکریستالیزاسیون، ساختار و در نتیجه مقاومت خـوردگی پوشـش کاربیـد	
زیرکونیم دارد. به طوری که پوشش تهیه شده در چگالی جریان ۲۰۰ mA/cm ² کم ترین سرعت خـوردگی	
را از خود نشان میدهد. این رفتار متأثر از ساختار نانومتری ایـن پوشـش بـه دلیـل پیوسـتگی ذرات کاربیـد	
زیرکونیم و عدم وجود ترک در ساختار پوشش است.	

۱– مقدمه

زیرکونیم و آلیاژهای آن به عنوان یک انتخاب بسیار مناسب در صنایع مختلف، به ویژه در راکتورهای اتمای به عنوان غلاف سوخت، مورد استفاده قرار می گیرد. همانند سایر فلزات که در محیط خورنده دچار خوردگی می شوند، زیرکونیم و آلیاژهای آن نیز از خوردگی و صدمات ناشای از

آن در امان نمی باشد [۳–۱].

استفاده از پوشش های فلزی، معدنی، آلی و کامپوزیتی در سطح فلز با هدف افزایش مقاومت خوردگی فلزات بسیار معمول است. در این میان، پوشش های کاربیدی به دلیل خصوصیات منحصر به فرد مانند سختی و نقطه ذوب بالا و پایداری شیمیایی مناسب مورد توجه زیادی قرار گرفته شده است. کاربید زیرکونیم (ZrC) یکی از کاربیدهای فلزی است





که به دلیل نقطه ذوب بالا (C°۳۵۵۰)، سختی زیاد، مقاومت در برابر سایش، هدایت الکتریکی بالا، پایداری شیمیایی و مقاومت خوردگی مناسب، به عنوان یک گزینه مطرح برای ایجاد پوششهای مقاوم به خوردگی مطرح است [۷-۴]. برای تهیه کاربید زیرکونیم از روش ها مختلف مانند رسوب برای تهیه کاربید زیرکونیم از روش ها مختلف مانند رسوب مذاب و روش الکترولیز از نمک مذاب استفاده میشود [۱۳-۷، ۴].

در روش الكتروليز از نمك مذاب، با انتخاب يك الكتروليت مناسب متشکل از نمکهای مختلف در دمای بالا و اعمال چگالی جریان مشخص بر قطعه زیرکونیمی (به عنوان کاتد) پوشش کاربید زیر کونیم در سطح قطعه ایجاد می شود. نمکهای بکار رفته حاوی نمک زیرکونیم (تأمین کننده زیرکونیم)، نمک کربنات (تأمین کننده کربن) و نمکهای تأمين كننده هدايت الكتريكي الكتروليت مـذاب مـيباشـند. چگالی جریان، زمان الکترولیز، حضور مواد افزودنی و ترکیب الکترولیت (نمک مذاب) از جمله عوامل موثر بر الكتروكريستاليزاسيون ودر نتيجه كيفيت پوشش كاربيدي حاصل مىباشند [١٣]. الكتروكريستاليزاسيون عبارتست از مرحله ای که اتمهای فرآورده واکنشهای الکترولیز با قـرار گرفتن در کنار یکدیگر، شبکهای دو یا سه بعدی را ایجاد و ساختار نهایی پوشش را در فرایند پوششده. الكتروشيميايي تشكيل مردهند. الكتروكريستاليزاسيون تحت تأثیر هم زمان دو پدیده دانهزایی و رشد دانه است و بر مورفولوژی نهایی و خواص پوشش تأثیر گذار است. در فرايند پوشش دهي الکتروشيميايي، سعي بـر ايـن اسـت بـا

¹ Electrocrystalization

انتخاب شرایط مناسب، تعادلی بین دانهزایی و رشد دانه ها برقرار شود. چگالی جریان اعمالی در طول فرایند الکترولیز بر ارجحیت هر یک از این دو پدیده شدیداً اثر دارد. به طوری که در چگالی جریان کم، ارجحیت با رشد دانه و در چگالی جریان بالا، ارجحیت با دانه زایی است. بنابراین با انتخاب چگالی جریان می توان بر خواص پوشش کاربید زیر کونیم تأثیر گذاشت [۱۶–۱۴].

در این تحقیق با استفاده از روش الکترولیز در نمک مذاب حاوی ZrO₂، XF ،NaF ،Na₂CO₃ ،ZrO و Na₂B₄O7 پوشش کاربید زیرکونیم در دو چگالی جریان ایجاد و اثر حضور پوشش و چگالی جریان الکترولیز بر مورفولوژی و مقاومت خوردگی پوشش مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- فعالیتهای تجربی

مواد اولیه شامل سدیم فلورید (NaF)، پتاسیم فلورید (KF)، زیرک ونیم اک سید (ZrO₂) سیدیم تتراب ورات (Na₂B₄O₇.10H₂O) و سدیم کربنات (Na₂CO₃.H₂O) با درجه خلوص آزمایشگاهی برای حمام الکترولیز بر اساس نسبت ترکیبی جدول ۱ استفاده شده است. در این حمام رTO₂ به عنوان منبع زیرکونیم و نمک Na₂CO₃ به عنوان منبع کربن برای کاربید زیرکونیم و سایر نمکها مانند سدیم فلورید (NaF)، پتاسیم فلورید (KF) و سدیم تتراب ورات فلورید (NaF)، پتاسیم فلورید (KF) و سدیم تراب ورات الکتریکی نمک مذاب، در نظر گرفته شده و ترکیب حمام بر اساس پژوهشی که به روشهای تهیه کاربید فلزات اشاره نموده انتخاب شده است [۱۳].

🖋 دورهی ۵ شمارهی ۲ تابستان ۱۳۹۵

Downloaded from ijcse.ir on 2025-09-01]



جدول ۱ – مواد مورد استفاده جهت تهیه حمام نمک مذاب الکترولیز

Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	KF	NaF	Na ₂ CO ₃ .H ₂ O	ZrO ₂	ماده
32.59	13.55	18.44	33.84	1.58	درصد وزنی (w/w))

سل الکترولیز شامل یک بوته پلاتینی (به عنوان آند) و میله زیر کونیمی با سطح 2 cm² د~ (به عنوان کاتـد) بـوده کـه در داخل یک کوره در دمـای ۲۰^o۷۷ و تحـت اتمـسفر آرگـون قرار گرفته است. فرایند الکترولیز با کمک منبع تغذیه جریان مستقیم (DC) در دو چگالی جریان (۲۰۵۸ م۳/۳ و ۱۲۰) انجام شد. بر حسب چگالی جریان اعمالی نمونهها به صورت انجام شد. بر حسب چگالی جریان اعمالی نمونهها به صورت مصرفی برابر باشد. انتخاب دو چگالی جریان با هدف مطالعه اثر میزان چگالی جریان بـر فراینـد الکتروکریـستالیزاسیون (دانهزایی و رشد دانهها) است.

نمون ه ه ا بعد از اتمام الکترولیز از حمام خارج شده و مشخصه یابی (بررسی مور فولوژی، ساختار کریستالی و طیف مادون قرمز) و مطالعات خوردگی بر روی آن ه انجام شد. مور فولوژی و آنالیز کمی نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، مدل EV018، ساخت شرکت روبشی (EDS)، مدل EV018، ساخت شرکت ایکس ^۲ (EDX) انجام شد. الگوی پراش اشعه ایکس از نمونه های تهیه شده با استفاده از دستگاه پراش اشعه ایکس ^۳ (XRD) انجام شد. الگوی پراش اشعه ایکس از STOE و مجهز به پرتو ایکس ۵ STOE و مجهز به پرتو ایکس ۵ STOE از یک دستگاه

¹ Scanning Electron Microscope (SEM)

³ X-ray Diffractometer (XRD)

طیف سنج مادون قرمزتبدیل فوریه^{*} (FTIR) مدل dیف سنج مادون قرمزتبدیل فوریه^{*} (FTIR) مدل Iزمایشهای خوردگی نمونهها با استفاده از یک الکترود مرجع نقره-کلرید نقره (Ag/AgCl) و یک الکترود کمکی پلاتین و به روش پلاریزاسیون دینامیک در ۱۰۰ میلی لیتر محلول حاوی بوریک اسید (Ag/AgCl) و یک الکترود کمکی محلول حاوی بوریک اسید (H3BO3, 1000 ppm) لیتیم هیدروکسید (H3BO3, 1000 ppm) در Assert در محدوده پتانسیل V 5.2-5.1- نسبت به الکترود نقره-کلرید نقره پتانسیل V 2.5-5.1- نسبت به الکترود نقره-کلرید نقره انتخاب این محلول آن است که دارای ترکیب شیمیایی انتخاب این محلول آن است که دارای ترکیب شیمیایی مشابه با سیال خنک کننده راکتورهای اتمی آب تحت فشار^۵ است [۳]. جهت استخراج اطلاعات مرتبط با خوردگی از ملبطه Pter-Geary (رابطه()) استفاده گردید:

$$i_{corr} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{(\beta_a + \beta_c) \times R_p} \qquad (1)$$

 $i_{corr} (\Omega/cm^2)$ مقاومت پلاریزاسیون (Ω/cm^2)، r_{corr} چگالی جریان خوردگی و β_a و β_a و کاتیب شیبهای آندی و کاتدی است. شیبهای تافیل آنیدی و کاتیدی با رسم مماسهایی بر روی قسمتهای خطی منحنیهای پلاریزاسیون آندی و کاتدی (محدودهی ۲۰ mV اطراف پتانسیل خوردگی، E_{corr}) محاسبه میگردد.

⁴ Fourier transform infrared spectroscope (FTIR)

² Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX)

⁵ Pressurized Water Reactor (PWR)

مطالعه مقاومت خوردگی پوششهای نانو ساختار زیرکونیم کاربید



ترمودینامیکی زیر کونیم برای واکنش با اکسیژن است که علی رغم استفاده از گاز آرگون در زمان الکترولیز، اکسید زیر کونیم در زمان آماده سازی و یا الکترولیز در سطح نمونهها تشکیل می شود. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود، پیک مربوط به کاربید زیر کونیم در موقعیتهای 20 می شود، پیک مربوط به کاربید زیر کونیم در موقعیتهای 20 نمان از تشکیل مفحات بلوری ZrC در این نمونه است [۱۹–۱۹].

۳ – نتایج و بحث
۳ – ۱ – تاییدیه تشکیل کاربید زیر کونیم
۳ – ۱ – ۱ – ۳ XRD
۳ – ۱ – ۱ – ۳ للکوهای پراش پرتو ایکس پوششهای کاربید زیر کونیم بر روی زیر کونیم با پوشش کاربیدی (نمونه 20 – 20) در شکل ۱ نشان داده شده است. پیکهای شاخص در الگوهای پراش پرتو ایکس، با زیر کونیای تتراگونال (t-ZrO) و منوکلینیک (zrO) و کاربید زیر کونیم میل (ZrO) منطبق است. تشکیل 2rO به دلیل میل (ZrO) منطبق است. تشکیل 2rO به دلیل میل



شکل ۱ – الگوهای پراش اشعه X (XRD) پوشش کاربید زیر کونیم(نمونه ZrC-120)

FTIR -۲-1-۳

شکل ۲ طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوریه پوشش کاربید زیرکونیم را نشان می دهد. بـر اسـاس مراجـع ZrC دارای یک پیک شاخص در محدودهای ¹-1075 cm 1055 است. در نمونه ZrC-120 این پیـک در ¹-1064 cm و در نمونـه ZrC-380 مشاهده شده است. حضور ایـن

پیک را میتوان به عنوان نشانه خوبی از تشکیل کاربید زیرکونیم به واسطه فرایند الکترولیز از نمک مذاب در سطح زیرکونیم دانست. سایر پیکهای مرتبط با زیرکونیم در طیف FTIR عبارتند از پیک مربوط به پیوند C-C در موقعیتهای ¹⁻Zr-O فر m⁻¹ و ¹⁻m 554 و ¹⁻m 1442 و مربوط به پیوند C-S در دو موقعیت ¹⁻m 861 و





519 cm⁻¹ و پیک مربوط به پیوند زیرکونیم اکسی کاربید

آزمون طیفسنجی تفکیک انرژی پرتو ایکس (EDX) از نمونهها نيز تشكيل كاربيد زيركونيم طي فرايند الكتروليز را تأييـد می کند. در شکل ۳ نتایج این آزمون به نمایش در آمده است.



شکل ۳- طیف سنجی تفکیک انرژی پر تو ایکس (EDX)

۲-۲- مطالعات خوردگی

منحنی پلاریزاسیون نمونههای زیرکونیم با پوشش کاربید زیرکونیم و نمونه بدون پوشش در شکل ۴ به نمایش درآمده است. اطلاعات مرتبط باخوردگی شامل، مقاومت پلاریزاسیون (R_p) و سرعت خوردگی (CR) از منحنیهای پلاریزاسیون استخراج و در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس این منحنیها، دو رفتار کاهش سرعت خوردگی و افزایش رفتار روئین شدگی در حضور پوشش کاربید زیرکونیم قابل توجه است. بر اساس این منحنی مشخص می شود که نمونه زیر کونیم بدون پوشش رفتار روئین شدگی دارد. با ایجاد پوشش کاربیدی در سطح زیر کونیم دو اتفاق به صورت هم زمان میافتد اولاً جریان روئین شدگی به مقادير كمتر انتقال مييابد. دوماً محدوده پتانسيل روئين مطالعه مقاومت خوردگی پوششهای نانو ساختار زیرکونیم کاربید



(H₃BO₃, LiOH, pH=6.85) دارد. از عوامل موثر در فرایند روئین شدگی میتوان به مقاومت پوشش در برابر عوامل خورنده و یکنواخت بودن پوشش اشاره نمود. پوشش کاربید زیرکونیم به عنوان یک ماده مقاوم به عوامل خورنده دارای شرط اول است. بنابراین در حضور این پوشش جریان روئین شدگی کاهش می یابد. در صورتی که این پوشش به صورت یکنواخت روی سطح زیر لایه قرار گیرد، این توانایی را دارد که یک منطقه روئین گسترده در منحنی

شدگی به شدت گسترش پیدا می کند به طوری این محدوده برای ZrC-120 برابر با ZrC-380 برابر با W ما001~ و برای ZrC-380 برابر با MO 600~ است. هم چنین منطقه روئین شدگی در حالت وجود پوشش کاربیدی مشخص تر شده است. این دو رفتار (که در حضور پوشش کاربید زیرکونیم، سرعت خوردگی کاهش یافته و منطقه روئین شدگی گسترده تر شده) نشان از رفتار ZrC به عنوان یک لایه روئین کننده و محافظ در برابر خوردگی برای زیرکونیم در محلولی شبیه به سیال خنک کننده راکتور



شکل ۴- منحنی پلاریزاسیون برای نمونه زیر کونیم بدون پوشش (Zr) و نمونه ای پوشش دار ZrC-120 و ZrC-380 Xr

نکته مهم این است که چگالی جریان الکترولیز در زمان ایجاد پوشش، تأثیر قابل توجهی بر کیفیت و کمیت این دو رفتار دارد. به طوری که در بین این دو پوشش، نمونه ZrC-120 (پوشش تهیه شده در چگالی جریان کمتر)

مقاومت خوردگی بیشتر و محدوده پتانسیل روئین شدگی گستردهتری نسبت به ZrC-380 (پوشش تهیه شده در چگالی جریان بیشتر) از خود نشان میدهد. ضخامت و مورفولوژی پوشش از جمله عوامل مهم و تأثیر گذار بر



رفتار خوردگی یک پوشش میباشند [۱۴]. با تهیه تصاویر زیرکونیم SEM از سطح مقطع نمونهها، ضخامت پوششها تفاوت در اندازه گیری و نتایج آن در جدول ۲ ارائه گردید. مشاهده پوششهه می شود که در هر دو نمونه، ضخامت پوشش کاربید شدگی) تأ

زیرکونیم تقریبا یکسان است. بنابراین عامل دیگر، یعنی تفاوت در مورفولوژی پوششها است که بر رفتار خوردگی پوشش ها (سرعت خوردگی و محدوده پتانسیل روئین شدگی) تأثیر گذاشته است.

جدول ۲- اطلاعات خوردگی برای دو پوشش و نمونه بدون پوشش، و اندازه ذرات، ضخامت پوشش و سرعت پوشش دهی کاربید زیرکونیم برای دو پوشش

		-			
نمونه			Zr	ZrC-120	ZrC-380
پتانسیل خوردگی	g/AgCl)	(mV vs A	-259	-489	-465
مقاومت پلاريزاسيون	(Ω/cm^2)		2.21×10 ⁴	9.17×10 ⁴	5.33×10 ⁴
شیب کاتدی	V/dec)	(- β _c	0.061	0.043	0.065
شیب آندی	V/dec)	(β _a	0.053	0.036	0.052
سرعت خوردگی CR	nm/year)	(r	1.63×10 ⁻³	2.11×10 ⁻⁴	4.15×10 ⁻⁴
متوسط اندازه ذرات rC	(nm) Zi			81	69
ضخامت متوسط	(µm)			95.64	93.14
سرعت پوشش دهی	nm/C			12.8	11.4

در شکل ۵ و ۶ تصاویر SEM پوششها نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش چگالی جریان، اندازه ذرات (قطرذرات) کاهش یافته است. برای توجیه این رفتار باید به الکتروکریستالیزاسیون توجه شود. همان طور که گفته شد، یکی از عوامل موثر بر الکتروکریستالیزاسیون و غالب شدن دانهزایی یا رشد دانهها پچگالی جریان اعمالی است. به طوری که در چگالی جریان کم، ارجحیت با رشد دانه و در چگالی جریان بالا، ارجحیت با دانهزایی است. در فرایند پوشش دهی الکتروشیمیایی سعی گونهای باشد که بعد از دانهزایی اولیه در سطح الکترود، کلیه دانهها با سرعت یکسان رشد نموده، تا در نهایت پوششی یکنواخت تر به دست آید. این رفتار در مقایسه تصاویر

SEM با مقیاس 10 μ π دو پوشش کاربید زیر کونیم که در دو چگالی جریان مختلف تهیه شدهاند قابل مشاهده است. در نمونه ZrC-120 که دارای چگالی جریان کـمتـر است، مشاهده میشود که انـدازه متوسط ذرات کاربیـد زیر کـونیم حداکثر مقدار است (Rn 18) که نشان از شرایط مناسـبتـر برای رشد دانهها دارد. با افزایش چگالی جریـان از ارجحیـت رشد دانه کاسته شده و پدیده دانهزایی غالب میشود [۶۶– ۱۹۲]. بهطوری که در نمونـه ZrC-380 انـدازه ذرات کاربیـد زیر کونیم تا حدود Rn 69 کاهش مییابد. نکتـه مهـم ایـن است که یک پوشش با خواص مناسب زمانی حاصل میشود که تناسب بین دانهزایی و رشد دانه به وجود آید. بـر اسـاس تصاویر SEM در مقیاس RM و Zrom مشاهده میشود که در نمونه 200 میا و تره دانه به وجود آید. بـر اسـاس



(نسبت به دانهزایی) ذرات کاربید زیرکونیم به صورت صفحهای رشد میکنند. با رسیدن این صفحات به یک دیگر حالت هم پوشانی بین صفحات به وجود أمده و در نتیجه احتمال رسيدن الكتروليت خورنده به سطح فلز كاهش يافته در نتیجه سرعت خوردگی در این نمونه کمتر خواهد بود (CR=2.11×10⁻⁴ mm/year). اما در نمونه ZrC-380 بـه دلیل ارجح بودن دانهزایی، حالت آگلومره شدت ذرات بیـشتر است. در این حالت هم پوشانی لازم بین ذرات بوجود نیامده و همان طور که در تصاویر SEM مشاهده می شود احتمال ایجاد ترک یا شکاف در نمونه ها وجود دارد. این شکاف موجب دسترسی بیشتر الکترولیت به سطح زیرلایه و در نتیجه افزایش سرعت خوردگی این نمونه نسبت به نمونه ZrC-120 خواهـد شـد (CR=4.15×10⁻⁴ mm/year). مقايسه مقاومت بلاريزاسيون اين نمونه تأييد كننده ميزان دسترسى الكتروليت به سطح زير لايه به دليل وجود يا عدم وجود ترک در پوشش است. به طوری که بر اساس جـدول ۲، نمونه ZrC-120 با مقاومت پلاریزاسیون ⁵2.75×2.75 Ohm/cm² نشان از دسترسی سخت الکترولیت به سطح زیر لایه به دلیل یک پارچه بودن پوشش و در نمونه -ZrC 1.60×10^5) با مقاومت پلاريزاسيون كمتر ($10^5 \times 10^5$ Ohm/cm²) نشان از دسترسی آسان تر الکترولیت به سطح زير لايه به دليل وجود ترک در ساختار پوشش است.



شكل ۵- تصوير SEM از نمونه ZrC-120





شکل ۶– تصویر SEM از نمونه ZrC-380

با توجه به میزان افزایش ضخامت پوشش (بر حسب نانومتر) در هر کولن (nm/C) برای دو نمونه که در جدول ۲ ارائه شده است. در حالت کلی میتوان گفت که در ZrC-120 به دلیل شرایط مناسبتر از نظر رشد دانهها، مشاهده میشود که اندازه دانهها بزرگتر است و این امر

باعث می شود که در سطح فلز دانه های بزرگ همانند یک پوشش پیوسته با ضخامت بالاتر عمل کنند. این پیوستگی دسترسی الکترولیت به زیر لایه (Zr) را محدود می کند. در نتیجه این نمونه سرعت خوردگی کمی داشته و هم چنین در محدوده وسیعی از پتانسیل رفتار روئین شدگی از خود نشان می دهد. اما در نمونه 280-Zr شرایط برای دانه زایی مهیا تر است بنابراین، این نمونه با تعداد زیادی از دانه ها روبرو هست که پیوستگی لازم را به یکدیگر نداشته و همان طور که اشاره شد این امر با کاهش مقاومت خوردگی و محدوده روئین شدگی برای این نمونه نسبت به خوردگی و محدوده روئین شدگی برای این نمونه نسبت به

۴- نتیجهگیری

پوششهایی بر پایه نانو ذرات کاربید زیر کونیم (ZrC) که با استفاده از روش الکترولیز از نمک مذاب حاوی سدیم فلورید (NaF)، پتاسیم فلورید (KF)، زیر کونیم اکسید (ZrO₂) سدیم تترابورات (Na₂B₄O₇.10H₂O) و سدیم کربنات سدیم تترابورات (Na₂CO₃.H₂O) و سدیم کربنات پوششها باعث افزایش مقاومت خوردگی و افزایش منطقه روئین شدگی شوند. نتایج نشان میدهد که چگالی جریان الکترولیز تاثیر قابل توجهای بر ساختار نانومتری پوشش، اندازه دانهها، یکنواختی و میزان ترک موجود در پوشش دارد. نتیجه این تأثیرات در رفتار خوردگی پوشش کاربید زیرکونیم مشاهده میشود. به طوری که در نمونهای که در چگالی جریان کمتر الکترولیز به دست آمده (ZrO) به دلیل رشد بیشتر دانهها و همپوشانی دانهها، ترک و شیار در پوشش کاهش مییابد. در نتیجه امکان دستیابی الکترولیت CARBIDE AND ZIRCONIUM DIBORIDE" Revue Roumaine de Chimie, 54(4), 293–299, 2009.

- [6] V. Swaminathan, H. Zeng, D. Lawrynowicz, Z. Zhang, and J. L. Gilbert, Electrochemical investigation of chromium nano-carbide coated Ti–6Al–4V and Co–Cr–Mo alloy substrates" Electrochimica Acta, (2011). doi:10.1016/j.electacta.2011.10.085
- [7] XIAO-MING HE, and L. SHU, HAI-BO LI, and D. WENG, "High corrosion resistant ZrC films synthesized by ionbeam-assisted deposition"J. Mater. Res., 14(2), 615, (1999).
- [8] Yan, Yongjie. Hung, Zhengren. Liu, Xuejian Jiang, Dongliang. "Carbothermal synthesis of ultra-fine zirconium carbide powders using inorganic precursors via sol-gel method", J Sol-Gel Sci. Technol, 44, 81-85, (2007).
- [٩] احسان دهقان منشادی، حمیدرضا بهاروندی، علی علیزاده، حسن مجیدی، "بررسی خواص کامپوزیت W-ZrC ساخته شده با نسبتهای مولی مختلف از WC و ZrO2" علم و مهندسی سرامیک، ۴، ۳۲-۳۲، (۱۳۹۴).
- [10] Wang Liangbiao, Si Lulu, Zhu

به زیرلایه محدودتر شده، مقاومت خوردگی نمونه بیـشتر و منطقه روئین شدگی گسترده تر خواهد بود.

مراجع

- [2] Chao Liu, Bing Liu, Youlin Shao, Ziqiang Li, Chunhe Tang, "Preparation and Characterization of Zirconium Carbide Coating on Coated Fuel Particles" J. Am. Ceram. Soc., 90, 3690– 3693, (2007).
- [3] Adamson, Ron., "Corrosion of Zirconium Alloys" Advanced Nuclear Technology International, 1-52, (2002).
- [4] Ming, Hui- Ding. Hong, Sen- Zhang.
 Chi, Zhang. and Xing, Jin.
 "Characterization of ZrC coatings deposited on biomedical 316L stainless steel by magnetron sputtering method" Surface and coatings technology, Volume 224, Pages 34-41, (2013).
- [5] Victor MALYSHEV, Angelina GAB,
 Ana-Maria POPESCU, Virgil
 CONSTANTIN,
 "ELECTROCHEMICAL SURFACE
 PLATING BASED ON TUNGSTEN

♦¥ دورهی ۵ شمارهی ۲ تابستان ۱۳۹۵



V. I. Shapoval, "Electrocrystallization of Molybdenum Carbide in Oxide Melts and the Influence of Electrolysis Parameters on Grain Size and Quality of Deposits" Russian Journal of Applied Chemistry, 74, 961-965, (2001).

- [16] E. Budevski, G. Staikov, W.J. Lorenz,
 "Electrocrystallization Nucleation and growth phenomena" Electrochimica Acta, 45, 2559–2574, (2000).
- [17] Zhao, D. Hu, H. Zhang, C. Zhang, Y. and Wang, J. "A simple way to prepare precursors for zirconium carbide", J Mater Sci., Volume 45, Pages 6401– 6405, (2010).
- [18] Nam, Y. S. Cui, X. M. Jeong, Lim. Lee, J. Y. and Park, W. H. "Fabrication and characterization of zirconium carbide (ZrC) nanofibers with thermal storage property", Thin Solid Films, Volume 517, Issue 24, Pages 6531–6538, (2009).
- [19] Wang, Shao-Long. Li, Ke-zhi. Li, He-Jun. Zhang, Yu-Lei and Feng, Tao. "Structure evolution and ablation behavior of ZrC coating on C/C composites under single and cyclic oxyacetylene torch environment",

Yongchun, Qian Yitai, "Solid-state reaction synthesis of ZrC from zirconium oxide at low temperature", Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 38, 134–136, (2013).

- [11] Long, Ying. Javed, Athar. Chen, Jie. Chen, Zhao-ke. and Xiong, Xiang.
 "Phase composition, microstructure and mechanical properties of ZrC coatings produced by chemical vapor deposition", Ceramics International, Volume 40, Issue 1, Pages 707–713, (2014).
- [12] Dai, Lei. Wang, Xianyu. Zhou, Huizhu. Yu, Yao. Zhu, Jing. Li, Yuehua and Wang, Ling. "Direct electrochemical synthesis of zirconium carbide from zirconia/C precursors in molten calcium chloride", Ceramics International, Volume 41, Pages 4182–4188, (2015).
- [13] Hockman. A. J. and Feigelson, R. S.. "Low Temperature Electrosynthesis of Tantalum and Niobium Monocarbides" J. Electrochem. Soc., 130, 221-224, (1983).
 در (۱۴] هادی عادل خانی، "استفاده از جریان پالسی در فرایند الکترولیز" فصلنامه علوم و مهندسی خوردگی، فرایند الکترولیز" فصلنامه علوم و مهندسی خرد (۱۳۹۳).
- [15] V. V. Malyshev, Kh. B. Kushkhov, and

[Downloaded from ijcse.ir on 2025-09-01

Characterization of ZrO_2 Thin Films on Si(100)", Journal of Modern Physics, Volume 3, Pages 69-73, (2012).

- [24] C. Badini, V. Liedtke, G. Euchberger, E. Celasco, S. Biamino, S. Marchisio, M.Pavese and P. Fino, Self passivating behavior of multilayer SiC under simulated atmospheric re-entry conditions, J. Eur. Ceram. Soc., 32 (16) 4435–4445, (2012).
- [25] Ramberg, C. E., Cruciani, G., Spear, K., Tressler, R., Ramberg, C.F., Passiveoxidation kinetics of high-purity silicon carbide from 800 ° to 1100 °C. Journal of the American Ceramic Society 79, 2897, (1996).

Ceramics international, Volume 40, Pages 16003-16014, (2014).

- [20] Kosolapova, T. Ya. Fedorous, V. B. panasyuk, A. D. and kozina, G. K. "Conditions of formations and some properties of zirconium oxycarbides", Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Volume 11, Issue 1, Pages 47-50, (1972).
- [21] Yan, Chunlei. Liu, Rongjun. Zhang Changrui and Cao Yingbin. "Zirconium carbide, hafnium carbide and their ternary carbide nanoparticles by an in situ polymerization route", Royal society of chemistry.RSC Adv., 5, 36520, (2015).
- [22] Liu, Changqing. Li, Kezhi. Li, Hejun. Zhang, Shouyang. Zhang, Yulei and Hou, Xianghui. "Synthesis, characterization, and ceramization of a SiC–ZrC–C Preceramic polymer precursor", J Mater Sci. Volume 50, Pages 2824–2831, (2015).
- [23] Chinchamalatpure, Vijay Ramkrishna.Chore, Sunil Madhavrao. Patil, ShikantSahebrao. Chaudhari and GajananNiranjan. "Synthesis and Electrical

۲۷ دورهی ۵ شمارهی ۲ تابستان ۱۳۹۵ **۲۲**