## سنتز پودر هگزا آلومینات لانتانیم منیزیم (LaMgAl11019) به منظور پوشش دهی به روش پلاسما اسپری بر روی سوپر آلیاژ پایه نیکل به عنوان پوشش سد حرارتی

محمد مهدی خرمی راد\*<sup>۱</sup>، محمد رضا رحیمی پور<sup>۲</sup>، سید محمد مهدی هادوی<sup>۳</sup>، کوروش شیروانی جوزدانی<sup>2</sup> ۱- دانشجوی دکتری، مهندسی مواد، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، البرز، ایران ۲- استاد، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، البرز، ایران ۳- دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران ۴- دانشیار، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران ۴عهده دار مکاتبات: mm.khorramirad@merc.ac.ir

**چکیدہ:** هگزا آلومینات لاتانیم(LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub>) به عنوان یک پوشش سد حرارتی جدید به دلیل خواص و ویژگی های برتر، جایگزین مناسبی برای زیر کونیای پایدارشده با ایتر پا( YSZ) می باشد. در این پژوهش ابتدا به سنتز پودر به روش حالت جامد و سپس به بررسی و فر آوری آن جهت انجام پوشش دهی پلاسما اسپری پرداخته شد. جهت ارزیابی خواص پودر سنتز شده از میکروسکوپ الکترونی، الگوی پراش اشعه ایکس و آنالیز حرارتی استفاده شد. برای سنتز هگزا آلومینات لانتانیم، ابتدا از -α کروسکوپ الکترونی، الگوی پراش اشعه ایکس و آنالیز حرارتی استفاده شد. برای سنتز هگزا آلومینات لانتانیم، ابتدا از در 100 Alp به عنوان مواد اولیه استفاده شد که نتایج نشان دهنده عدم تشکیل فاز مورد نظر بود. سپس از پودر AlpO<sub>1</sub>-γ استفاده شد که در نتیجه آن ترکیبی به صورت تکفاز با مورفولوژی صفحه ای تشکیل شد و همچنین دمای سنتز این ترکیب <sup>2</sup> مینا تعیین گردید. در محدوده دمای <sup>2</sup> ۲۰۱۰–۸۵۰ تر کیبات AlpO<sub>1</sub>-۵۵ مولای می توان نتیجه گرفت که نقش اصلی فاز دول به سنتر ایایی ناشی از واکنش این سه ترکیب می باشد. از نتایج آنالیز فازی می توان نتیجه گرفت که نقش اصلی فاز دول ۲۰۰۹، کاهش دمای سنتز فاز اسپینل MgAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در دمای <sup>2</sup> ۲۰۰۰ می باشد. آنالیز فازی می توان نتیجه گرفت که نقش اصلی فاز دول میر دمای مین باشی از واکنش این سه ترکیب می باشد. از نتایج آنالیز فازی می توان نتیجه گرفت که نقش اصلی فاز دول می دمای باشی از واکنش این سه ترکیب می باشد. از نتایج آنالیز فازی می توان نتیجه گرفت که نقش اصلی فاز Maclo

> **واژه های کلیدی:** هگزا آلومینات لانتانیم، پوشش سد حرارتی، سنتز حالت جامد، پلاسما اسپری.

> > ۱- مقدمه

به منظور کاهش اثرات ناشی از دمای بالا بر روی قطعاتی مانند اجزای موتور هواپیما و توربین های گازی که در شرایط بحرانی دما بالا کار می کنند، از پوشش سد حرارتی('TBC) استفاده

می گردد [۱]. با وجود استفاده جهانی زیرکونیای پایدار شده با ایتر یا (YSZ<sup>۲</sup>) به عنوان پوشـش سـد حرارتی، محدود یت کارکردی در دمای بالا دارد. در بالای ۲<sup>°</sup> ۱۲۰۰ پایداری فازی

کاهش یافته و زینترینگ به شدت رخ می دهد [۲-۸]. بدلیل درخواست برای د مای عملکردی بیشتر در دا خل توربین، تحقیقات زیادی برای یافتن موادی که دارای د مای کار کردی بالاتری می باشند، انجام شد. مواد مختلفی وجود دارند که می توانند به عنوان پو شش سرامیکی مورد استفاده قرار گیرند. بطور کلی این مواد ممکن است سبب بهبود YSZ شوند اما محدودیت هایی وجود دارد. این سبب می شود که یک تعداد سیستم دولایه با ویژگی های مناسب ازدو سرامیک در یک پوشش استفاده گردند. در این مورد XSZ در میان لایه پوشش باندی و پوشش با

دپ کردن بیشتر YSZ سبب تشکیل پوشش هایی با عیوب خوشه ای می شود که دپینگ ها شامل اکسیدهای نادر خاکی می باشند. محققان در این مورد، بر این باور می باشند که خوشه های کاتیونی در مقیاس نانو سبب افزایش اثر پراکندگی فونون ها خواهند شد [۲، ۵، ۱۰].

همچنین بر روی اکسید های pyrochlore (A2B2O7) [Y- ۳، ۶، ۱۰-۱۸]، به ویژه زیر کونات های دپ شده با دیگر اکسیدهای نادر خاکی، مطالعاتی انجام شده است. دپ کردن همزمان عناصر نادر خاکی در مکان A، هدایت حرارتی را در الگویی مشابه با پو شش های YSZ که دارای عیوب خو شه ای می با شند، کاهش می دهد. مشکل این مواد ناساز گاری آن ها با لایه اکسیدی ر شد یافته بصورت گرمایی(TGO<sup>T</sup>) شکل گرفته در طی کار می باشد. این مشکل باعث می شود که این پوشش ها بصورت دولایه با یک لایه استاندارد YSZ بین پوشش باندی و Pyrochlore استفاده می شوند [۹].

اکسید های magnetoplumbite نیز همچنین به عنوان پوشش سد حرارتی دما بالا مد نظر می باشــند. این خانواده از اکســیدها، ساختارهایی به صورت صفحات کوچک در کریستالیزاسیون از خود نشان می دهند که سبب تولید تخلخل در پوشش می شوند. بعلاوه این اکســید ها بدلیل نرخ کم نفوذ یونی، مقاو مت به زینترینگ زیادی دارند [۹]. اساس ترکیبات هگزاآلومینات ها به صورت ترکیب ABAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub>

با ساختار (MP) magnetoplumbite (MP)، می باشد که دارای پایداری ترمومکانیکی و ساختاری تا دمای C°۱۴۰۰ می باشد [۲، [۱۱]، و حتی پایداری تا دمای C°۱۸۰۰ نیز گزارش شده است [۲۰]. در مطالعات گوناگون به برر سی دپ شدن عنا صر مختلف و جاذشینی آن ها بجای کاتیون های A و B پرداخته شده است. این ساختار پیچیده بدلیل هدایت حرارتی پایین و تقارن بالا، در د مای بالا پا یداری خوبی از خود نشان می د هد و همچنین نشان می دهد. بنابراین دارای دمای ذوب بالا می باشند [۱۲]. یکی از مهمترین کاندیدا در این مورد هگزاآلومینات لانتانیم می باشد. این ماده بر مشکلات SZ غلبه نموده و باعث پایداری حرارتی تا C° ۱۶۰۰ می شود و از نظر عایق حرارتی نیز با SZ قابل مقایسه می باشد [۶، ۱۲– ۲۲].

هگزا آلومینات لانتانیم به طور وسیعی در مواد مورد استفاده در صنایع لیزر و لومینسانس، پایه های کاتالیست، کاتالیست های دما بالا در محفظه های احتراق کاتالیستی و همچنین برای تثبیت و عدم تحرک زباله های هسته ای استفاده می شود و از کاندیدای مهم برای مواد مورد استفاده در پوشش های سد حرارتی می باشد [۷].

ترکیب اولیه LaAl<sub>11</sub>O<sub>18</sub> بدلیل ساختار آن، دارای کاتیون های آلومینیوم(تقریبا ۸ درصد) و جاهای خالی آنیون اکسیژن(تقریبا ۵ در صد) می با شد که اجازه نفوذ اتم ها در ساختار را می دهد. با دپ شدن MgO جاهای خالی کاهش یافته و این بدان معنی است که در ترکیب LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub> ( LaMA) همه جا های خالی تو سط منیزیم و اکسیژن پر شده و بنابراین اشغال همه مکان های خالی شببکه منجر به پایداری زیاد در دمای بالای ۲۰۰۰ امی شود [۸].

ترکیب LaMA اخیرا به عنوان یک کاندیدا برای پوشش های سد حرارتی جدید به دلیل پایداری حرارتی عالی در دمای بالا، مقاومت به زینترینگ خیلی خوب، تافنس شکست بالا، عمر سیکل حرارتی طولانی این ترکیب و مدول یانگ پایین توسعه داده شده است [۲۳– ۲۴]، که این خواص اساسا به ساختار صفحه

www.SID.ir

های کوچک<sup>۶</sup> نامنظم که یک محصول با میکرو تخلخل ها و هدایت حرارتی کم تولید می کنند، نسبت داده می شود [۲۰]. ترکیب LaMA دارای ساختار MP، هگزاگو نال و از گروه فضایی P63/mmc می باشند(شکل ۱) [۱۹].



شكل (۱): ساختار كريستالي LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub>[۲۶]

به طور کلی مواد عایق حرارتی مورد نظر به صورت فرمول x = 203-xMgO-yAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> می  $x \ge 0.2 \in x \ge 3.3$  ،La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-xMgO-yAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> باشد. ترکیب ایده آل به صورت LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub> می باشد و همان طور که در دیاگرام سه تایی ترکیب در شکل ۲ قابل مشاهده است، ترکیب به صورت ۷/۱ درصد مولی La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> می باشد [۸]. درصد مولی MgO و ۷/۸۶ درصد مولی Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> می باشد [۸].



در این پژوهش، پودر LaMA به روش حالت جامد سنتز می شود و جهت ایجاد قابلیت پاشش توسط دستگاه پاشش پلاسما اسپری (°APS)، گرانول سازی پودر مورد بررسی قرار می گیرد. در پایان پارامترهای پوشـش دهی این ترکیب توسط APS جهت ایجاد پوشش سد حرارتی تعیین می گردد.

## ۲- مواد و روش انجام تحقيق

MERCK ) La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> شامل MERCK ( La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( ALDRICH 34279-3) MgO ( (2220) ( MERCK γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ( ALDRICH 34279-3) MgO ( (2220) ( او 3427) می باشند. در این پژوهش پودر هگزا آلومینات لانتانیم به روش حالت جامد سنتز شده است. برای سنتز پودر، پودر های اولیه با توجه به نسبت های استو کیومتری تر کیب مورد نظر با استفاده از ترازوی دیجیتالی وزن شده و با یکدیگر در دستگاه آسیاب سیاره ای با نسبت وزنی گلوله به پودر ۱۰۰ به ۱ و سرعت چرخش ۲۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۲۴ ساعت مخلوط شدند. پس از خشک شدن پودر در آون، پودر ایجاد شده در ایم شدند. در این ترکیب شدن یودر در آون، پودر ایجاد شده در کوره الکتریکی به مدت ۶۲ ساعت مخلوط شدند. پس از خشک شدن پودر در آون، پودر ایجاد شده در کوره الکتریکی به مدت ۶

برای عملیات پو شش دهی پلاسما اسپری، پودر مورد نظر باید از جریان یابی خوبی برخوردار باشد که در اینجا از دوروش استفاده شـد. در روش محلول PVA که از محلول PVA در آب مقطر و ایجاد دوغاب استفاده می شود، پس از ایجاد دوغاب، از دستگاه همزن گرمایشی، جهت همگن شـدن در حین اختلاط و خروج آب افزوده شـده، استفاده شـد. سپس جهت اطمینان از خروج رطوبت جذب شده توسط پودر، پودر را در آون قرار داده و پس از عملیات خشـک کردن، پودر هایی با مش ۲۳۰، ۲۷۰ و ۳۵ برای فرآیند پلاسما اسپری جمع آوری گردید. در روش دیگر با استفاده از دستگاه پاسما اسپری (APS) با تفنگ Metco فازی با اسـتفاده از دسـتگاه پراش اشـعه ایکس(<sup>9</sup>/ ۱/۵۴۲۶۹ با ستفاده از (۲۸) مدل مدل انجام شد. آنالیز اندازه گام ۲۰/۰ درجه و محدوده روبش ۸۰–۱۰ درجه انجام شد. برای بررسی میکروسـاختاری و مورفولوژی پودر سنتز شـده و برای بررسی میکروسـاختاری و مورفولوژی پودر سنتز شـده و

www.SID.ir

يو شش اعمالي، از ميكرو سكوب الكتروني روبشي (SEM) مدل VEGA-TESCAN استفاده شد. دو ترکیب LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub> و LaAl<sub>11</sub>O<sub>18</sub> به ترتیب دارای JCPDS کارت هایی به شماره های ۷۸–۱۸۴۵ و ۰۶۹۹–۳۳، دارای ترکیب شیمیایی و گروه فضایی مشابه مي با شند. تفكيك اين دو تركيب تنها تو سط نتايج XRD مشکل بوده و بنابراین آنالیز شیمیایی جداگانه ای باید انجام شود. تركيب LaMA شــا مل عناصــر آلومينيوم، لانتانيم، منيزيم و اکسیژن می باشد که با یک ارزیابی کمی توسط طیف نگار یاشندگی انرژی اشعه ایکس (EDS) به همراه الگوی پراش اشعه ایکس می توان این دو فاز را بطور کامل از هم تشخیص داد [۸]. آناليز حرارتي همزمان (STA<sup>°</sup>) شامل جرم سنجي حرارتي ('TG) و آناليز حرارتي مقايسه اي (''DTA) بوسيله دستگاه NETZSCH STA 409 PC/PG با نرخ گرمایش C/min 5 در اتمسفر هوا و با استفاده از بوته آلومینایی انجام گرفت. برای اطمینان از عدم تجزیه شدن هگزا آلومینات لانتانیم در حین پوشش دهی، پودر فرآوری شده بر روى يايه گرافيتي توسط يلاسما اسيري (جدول ۱)، يوشش داده شد سپس مورد ارزیابی قرار گرفت.

IB Metco
٨٠
۱۵
۵۰۰
۵۵
۲۵
٨

حدول(۱): بارامترهای باشش به روش بلاسما اسبری

### ۳- نتايج و بحث

برای سنتز هگزا آلومینات لانتانیم، ابتدا از α-Al2O3 به عنوان مواد اولیه استفاده شد. الگوی پراش اشعه ایکس پودر سنتز شده که در دمای ۲۰ ۱۶۰۰ کلسینه شد، در شکل۳نشان داده شده است. مشاهده می شود که پودر مذکور حاوی سه فاز LaAlO3 و MgO LaAlO می باشد. رنگ قهوه ای مشاهده شده مربوط به تشکیل فاز LaAlO می باشد.



به علت عدم تشکیل فاز هگزاآلومینات لانتانیم، در سنتز بعدی از پودر γAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> به عنوان ماده اولیه استفاده شده است. آنالیز فازی پودر سفید رنگ حاصله مطابق شکل۴ بیانگر تشکیل فاز LaMA به صورت تکفاز است.



همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، پودر سنتز شده بصورت صفحات کوچکی با نسبت طول و عرض زیاد و ضخامت نانومتری هستند که تطابق خوبی با مطالعات محققان دارند. جهت [۰۰۰۱] کریستال LaMA دارای کمترین رشد بوده و سبب رشد

صفحه ای این ذرات می گردد [۱۹]. ضخامت صفحات تر کیبات هگزاآلومیناتی نسبت عکس با شعاع یونی عناصر نادر خاکی دارند [۲۷].



شكل(۵): تصویر میكروسكوپ الكتروني پودر سنتز شده LaMA

آ نالیز حرارتی(DTA-TG) پودر حاوی گا ما آلومینا قبل از فرآیند کلسیناسیون انجام شد که نتایج آن در شکل ۶ نشان داده شده است. در شکل ۶ چهار پیک گرمازا در دماهای ۲۰۳۸، ۲۵ ۸۲۹، ۲۰۰۰ و ۲۰ ۱۳۳۰ و یک پیک گرماگیر نیز در دمای ۲۰۰۰ مشاهده می شود. پیک گرماگیر در دمای ۲۰۰۲، مربوط ۱۰۰۰ مشاهده می شود. پیک گرماگیر در دمای ۲۰۰۲، مربوط ۱۰۰۰ مشاهده می شود. پیک گرماگیر در دمای ۲۰۰۲، مربوط ۱۰۰۰ می اشد. پیک گرماگار در دمای ۱۰۰۲ مربوط ۱۰۰۰ مربوط به تبدیل ۱۹۵(OH) به MgO می باشد. ادمای ۲۰۵۲ می گردد. قابل ذکر است که در (OH) به صورت دو ۲۰۵۲ می گردد. قابل ذکر است که در (OH) به صورت دو

مرحله ای ابتدا به LaOOH و سیپس به La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> تبدیل می گردد [۲۹].

برای مشخص کردن واکنش انجام شده در دمای C° ۱۳۳۰، پودر اولیه را در دمایC° ۱۳۵۰ کلسینه نموده و آنالیزفازی XRD انجام شد( شکل۷).



پودر حاوی گاما آلومینا با دمای کلسیناسیون C° ۱۳۵۰

همچنین نتایج آنالیز حرارتی نشان می دهند که پیک گرمازا در دمای ℃ ۱۳۳۰ دمای سنتز هگزا آلومینات لانتانیم در این پژوهش می باشد. کاهش دمای سنتز مشاهده شده نسبت به نتایج مطالعات

www.SID.ir

توسط محققین دیگر را می توان به نحوه آماده سازی پودر اولیه نسبت داد. در پژوهش های انجام شده توسط محققین [۱۲، ۲۷، ۳۰] دمای سنتز در روش حالت جامد بین ۲۰۵۶–۱۹۰۰ ذکر شده است، که در اینجا کاهشی در حدود ۲° ۳۲۰–۱۷۰ دیده شده است.

جهت مشخص نمودن واکنش های انجام شده که سبب پیک گرمازا در محدوده C°۱۰۰۰در آنالیز حرارتی(شکل ۶) شده اند، مخلوط پودر اولیه بعد از آسیاب در دمای C° ۱۱۰۰کلسیناسیون گردید. الگوی پراش اشعه ایکس پودر کلسینه شده (شکل ۸) نشانگر وجود فازهایی شامل ترکیبات Al2O3 ، LaAlO و اسپینل نشانگر وجود فازهایی شامل ترکیبات MgAl2O4 و اسپینل شکل۳ مشاهده می گردد که در حضور فاز α-Al2O3 حتی در دمای C



شکل (۸): الگوی پراش اشعه ایکس پودر کلسینه شده در دمای C° ۱۱۰۰

MgO و  ${\rm Al}_2{\rm O}_3$  و  ${\rm Al}_2{\rm O}_3$  و  ${\rm MgO}$  و  ${\rm MgO}$  و  ${\rm MgO}$  به سمت  ${\rm Al}_2{\rm O}_3$  منجر به تشکیل سمت MgO و  ${\rm MgO}$  و  ${\rm MgO}$  به سمت  ${\rm MgO}_2{\rm O}_3$  منجر به تشکیل اسپینل (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) می شوند [۳۱]. این واکنش در دمای پایین تر از  ${\rm D}_2{\rm O}_1$  می این از  ${\rm D}_2{\rm O}_1$  می شوند و در دمای  ${\rm D}^2{\rm O}_1$  منجر به تشکیل ان پایین تر به می شود و در دمای  ${\rm D}^2{\rm O}_1$  می از  ${\rm D}_2{\rm O}_1$  می شود و در دمای  ${\rm D}_2{\rm O}_1$  می از  ${\rm D}_2{\rm O}_1$  می باشد که تنها می توان به وجود فاز  ${\rm Al}_2{\rm O}_2$  مرتبط نمود.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - γ دارای سطح ویژه بالایی و خواص سطحی بی نظیری می باشد که با افزایش دما و تغییرات آلوتروپی، کاهش شدیدی در سطح ویژه پودرهای سنتز شده، مشاهده می شود [۳۱– ۳۳]. گزارش شده است که وجود بعضی از عناصر از قبیل (ea، Ba Ba، Ce) گزارش شده است که وجود بعضی از عناصر از قبیل (eT). ماه Sr ، Sm ، La ماه Sr ، Sm ، La لذا در اینجا می توان سطح ویژه بالای فازهای انتقالی بخصوص لذا در اینجا می توان سطح ویژه بالای فازهای انتقالی بخصوص ترکیب را عامل تشکیل اسپینلی آن [۳۴] و وجود عنصر لانتانیم در ترکیب را عامل تشکیل اسپینل (MgAl<sub>2</sub>O4) در دماهای پایین تر برای واکنش حالت جامد بیان نمود، که در نهایت منجر به تشکیل AMA در دمای C<sup>o</sup>

همچنین الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به پودر کلسینه شده در دمای ۵۵۰۵C نشانگر وجود ترکیبات اکسیدی لانتانیم، آلومینیوم و منیزیم می باشد. می توان نتیجه گرفت که در محدوده دمایی ۱۱۰۰۰°C واکنش های شیمیایی زیر رخ داده است.

پراش اشعه ایکس پودر سنتز شده در قبل و بعد از گرانول سازی رخ نداده است. همچنین گرانوله شدن ذرات پودر در شکل ۱۰ بوضوح قابل مشاهده می باشد. ۱۷۸



شکل(۱۰): تصویر میکروسکوپ الکترونی پودر سنتز شده که در آب پلاسما اسپری شده است

الگوی پراش پوشش LaMA بر روی پایه گرافیتی که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، نیز نشانگر عدم تجزیه ترکیب پودر سنتز

شده وعدم ایجاد فاز ثانویه است. همچنین کاهش شدت پیک ها و پهن شدن آن ها حاکی از تشکیل فاز آمورف در پوشش می باشد.



شکل ۱۲ مورفولوژی سطح پوشش را نشان می دهد، می توان ذرات پودر پلاسما اسپری شده ذوب شده را مشاهده نمود و همچنین ذرات ذوب نشده و نیمه ذوب مشاهده نمی گردد. در شکل ۱۳ آنالیز EDS از سطح پوشش اعمالی مشاهده می شود. در این شکل همانند آنالیز پودر اولیه عنصر منیزیم مشاهده می شود، بنابراین می توان نتیجه گرفت که منیزیم در دمای بالای پلاسما از سیستم خارج نشده است.

با سنتز پودر LaMA و فرآوری پودر جهت پوشش پلاسما اسپری و به دنبال آن بهینه سازی پارامترهای پوشش دهی، در مرحله بعد، این پودر به عنوان پوشش سد حرارتی بر روی سوپر آلیاژ پایه نیکل( اینکونل ۷۳۸)، به روش پلاسما اسپری پوشش داده خواهد شد. A10 ...

٥- مواجع
٥. والفي و ک. زنگنه مدار، "ارزیابی
٥. میکروساختاری پوشش های YSZ پاشش پلاسمایی"، فصلنامه علمی و پژوهشی فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، سال نهم، شماره اول، ١٣٩۴.

- [2] X. Q. Cao, R. Vassen & D. Stoever, "Ceramic Materials for Thermal Barrier Coatings", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 24, pp. 1–10, 2004.
- [3] Z. Hong Song, C. Xiao Ge, L. Gang, W. Xin Li & D. Xu Dan, "Influence of Gd2O3 Addition on Thermophysical Properties of La<sub>2</sub>Ce<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Ceramics for Thermal Barrier Coatings", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 32, pp. 3693–3700, 2012.
- [4] C. J. Friedrich, R. Gadow & M. H. Lischka. "Lanthanum Hezaaluminate Thermal Barrier Coatings", 25th Annual Conference on Composites, Advanced Ceramics, Materials, and Structures, B, 2001.
- [5] W. Pan, S. R. Phillpot, C. Lei Wan, A. Chernatynskiy & Z. Qu, "Low Thermal Conductivity Oxides", MRS Bulletin, Vol. 37, pp. 917-922, 2012.
- [6] R. Vassen, A. Stuke & D. Sto<sup>-</sup>ver, "Recent Developments in the Field of Thermal Barrier



شکل(۱۲): تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشش پلاسما اسپری بر روی پایه گرافیتی



٤- نتیجه گیری برای سنتز ترکیب LaMA، α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> مناسب تشخیص داده نشد

Damage Degree of the Double-Ceramic-Layer Thermal Barrier Coating of  $La_2(Zr_{0.7}Ce_{0.3})_2O_7$  and 8YSZ: Eu", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 33, pp. 2207–2213, 2013.

- [17] H. Dai, X. Zhong, J. Li, J. Meng & X. Cao, "Neodymium–Cerium Oxide as New Thermal Barrier Coating Material", Surface & Coatings Technology, Vol. 201, pp. 2527–2533, 2006.
- [18]X. Cao, "Development of New Thermal Barrier Coating Materials for Gas Turbines", 2004.
- [19]X. Chen, Y. Zhao, X. Fan, Y. Liu, B. Zou, Y. Wang, H. Ma & X. Cao, "Thermal Cycling Failure of New LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub>/YSZ Double Ceramic Top Coat Thermal Barrier Coating Systems", Surface & Coatings Technology, Vol. 205, pp. 3293–3300, 2011.
- [20] S. M. Naga, "Ceramic Matrix Composite Thermal Barrier Coatings for TurbineParts", pp. 524-536, 2014.
- [21]G. Pracht, R. Vden & D. Stover, "Lanthanum-Lithium Hexaaluminate - a New Material for Thermal Barrier Coatings in Magnetoplumbite Structure- Material and Process Development", Advanced Ceramic Coatings and Interfaces, pp. 87-99, 2007.
- [22] N. P. B. A. D. Zhu, "Thermal Properties of Oxides with Magnetoplumbite Structure for Advanced Thermal Barrier Coating", Surface & Coatings Technology, Vol. 202, pp. 2698–2703, 2008.
- [23] X. Chen, L. Gu, B. Zou, Y. Wang & X. Cao, "New Functionally Graded Thermal Barrier Coating System Based on LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub>/YSZ Prepared by Air Plasma Spraying", Surface & Coatings Technology Vol. 206, pp. 2265–2274, 2012.
- [24]X. Chen, B. Zou, Y. Wang, H. Ma & X. Cao, "Microstructure and Thermal Cycling Behavior of Air Plasma-Sprayed YSZ/LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub> Composite Coatings", Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 20, pp. 1328–1338, 2011.
- [25]G. W. S. A. R. Gadow, "Lanthane Aluminate Thermal Barrier Coating Ceramic", Engineering and Science Proceedings, pp. 291-297, 1999.
- [26] X. Chen, Y. Zhang, X. Zhong, Z. Xu, J. F. Zhang, Y. Cheng, Y. Zhao, Y. Liu, X. Fan, Y. Wang, H. Ma & X. Cao, "Thermal Cycling Behaviors of the

Coatings", Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 18, pp. 181–186, 2009.

- [7] X. Chen, Y. Z. Wenzhi Huang, H. Ma, B. Zou, Ying Wang & X. Cao, "Thermal Aging Behavior of Plasma Sprayed LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub> Thermal Barrier Coating", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 31, pp. 2285–2294, 2011.
- [8] A. L. & G. E., "Thermal Insulating Material and Method of Producing Same", 2006.
- [9] N. Curry, "Design of Thermal Barrier Coatings", University Wes, 2014.
- [10] G. Mauer, M. Ophelia Jarligo, D. Emil Mack & R. Vaßen, "Plasma-Sprayed Thermal Barrier Coatings: New Materials, Processing Issues and Solutions", Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 22, pp. 646–65, 2013.
- [11] R. Vaßen, M. Ophelia Jarligo, T. Steinke, D. Emil Mack & D. Stöver, "Overview on Advanced Thermal Barrier Coatings", Surface & Coatings Technology, Vol. 205, pp. 938–942, 2010.
- [12] D. Stöver, G. P., H. Lehmann, M. Dietrich, J. E. Döring & R. Vaßen, "New Material Concepts for the Next Generation of Plasma-Sprayed Thermal Barrier Coatings", Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 13, pp. 76-83, 2004.
- [13] A. Joulia, M. Vardelle & S. Rossignol, "Synthesis and Thermal Stability of Re<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, (Re=La,Gd) and La<sub>2</sub>(Zr<sub>1-x</sub>Ce<sub>x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>7- $\delta$ </sub> Compounds under Reducing and Oxidant Atmospheres for Thermal Barrier Coatings", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 33, pp. 2633–2644, 2013.
- [14] X. Q. Cao, R. Vassen, F. Tietzb & D. Stoever, "New Double-Ceramic-Layer Thermal Barrier Coatings Based on Zirconia–Rare Earth Composite Oxides", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 26, pp. 247–251, 2006.
- [15] S. Zhao, L. G., Y. Zhao, W. Huang, L. Zhu, X. Fan, B. Zou & X. Cao, "Thermal Cycling Behavior and Failure Mechanism of La<sub>2</sub>(Zr<sub>0.7</sub>Ce<sub>0.3</sub>)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/ Eu<sup>3+</sup>-Doped 8YSZ Thermal Barrier Coating Prepared by Atmospheric Plasma Spraying", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 580, pp. 101–107, 2013.
- [16] S. Zhao, Y. Z., Ling Zhu, L. Gu, W. Huang, X. Fan, B. Zou, Y. Wang & X. Cao, "A Simple Non-Destructive Method to Indicate the Spallation and

٦- پی نوشت

- [1] Thermal Barrier Coating
- [2] Yttria stabilized zirconia
- [3] Thermally Grown Oxide
- [4] Platelet
- [5] Atmospheric Plasma Spraying
- [6] X-Ray Diffraction
- [7] Scanning Electron Microscope
- [8] Energy Dispersive Spectroscopy
- [9] Simultaneous Thermal Analysis
- [10] Thermo-Gravimetric
- [11] Differential Thermal Analysis

Plasma Sprayed Thermal Barrier Coatings of Hexaluminates with Magnetoplumbite Structure", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 30, pp. 1649–1657, 2010.

- [27] J. F. Zhang, X. Zhong, Y. Cheng, Y. Wang, Z. Xu, X. Chen, H. Ma, Y. Zhao & X. Cao, "Thermal-Shock Resistance of LnMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub> (Ln = La, Nd, Sm, Gd) with Magnetoplumbite Structure", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 482, pp. 376–381, 2009.
- [28] T. R. Hull, L. A. H, "The Thermal Decomposition of Huntite and Hydromagnesite - A Review", Thermochimica Acta, Vol. 509, pp. 1-11, 2010.
- [29] A. Neumann, D. W., "The Thermal Transformation fromLanthanum Hydroxide to Lanthanum Hydroxide Oxide", Thermochimica Acta, Vol. 445, pp. 200-204, 2006.
- [30] R. X. Zhu, Z. Guoliu, J. Huouyangn & Yuzhou, "Preparation and Characterization of LnMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub> (Ln=La, Nd,Gd) Ceramic Powders", Ceramics International, Vol. 39, pp. 8841–8846, 2013.
- [31]I. Gómeza, M. H., Juan A. & M. Hinojosab, "Comparative Study of Microwave and Conventional Processing of MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-Based Materials", Ceramics International, Vol. 30, No. 6, pp. 893–900, 2004.
- [32] R. Xu, W. P. A. Q. H., "Modern Inorganic Synthetic Chemistry", Elsevier, 2011.
- [33] P. Alphonse, B. F., "Thermal stabilization of alumina modified by lanthanum", Microporous and Mesoporous Materials, Vol. 196, pp. 191-198, 2014.
- [34]Brandon, I. L. A. D., "Metastable Alumina Polymorphs: Crystal Structures and Transition Sequences", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 81, No. 8, pp. 1995-2012, 1998.

[۳۵] ل. شریفی، ت. عبادزاده و س. ح. میرحسینی، "مقایسه خواص نانو پودر اکسید آلومینیوم سنتز شده در کوره و ماکروویو"، فصلنامه عملی و پژوهشی فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، سال چهارم، شماره اول، ۱۳۸۹.

## Synthesis of the lanthanum magnesium hexaaluminate (LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub>) powder in order to plasma spray coating on the nickel super alloy as a thermal barrier coating

# Mohammad Mehdi Khorramirad<sup>1</sup>\*, Mohammad Reza Rahimipour<sup>2</sup>, Seyed Mohammad Mahdi Hadavi<sup>3</sup>, Kourosh Shirvani Jozdani<sup>4</sup>

1- Ph.D. Student, Materials and Energy Research Center, Karaj, Alborz, Iran

2- Professor, Materials and Energy Research Center, Karaj, Alborz, Iran

3- Associate Professor, Tarbiat Modares University, Department of Materials Engineering, Tehran, Iran

4- Associate Professor, Department of Advanced Materials and New Energies, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran

\*Corresponding author: mm.khorramirad@merc.ac.ir

### Abstract

Lanthanum hexaaluminate (LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub>) as a new thermal barrier coating due to the properties and superior features is selected as a preferred composition instead of vttria -stabilized zirconia (YSZ) Composition. In this paper, synthesis of this composition by solid state reaction method was investigated then it was prepared to coat by atmospheric plasma spraying (APS) method. Scanning electron microscope with X-ray microanalysis (SEM-EDS), differential thermal analysis (TGA/DTA), X-ray diffraction (XRD) were used to characterize of the synthesized powder, granules and free standing as sprayed LaMgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub> coating. In this research first,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder was used as a raw material. The results showed that this material was not suitable for the synthesis of this compound. Therefore,  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder was used. As a result of that, a single phase compound with plate-like morphology was formed and the synthesis temperature was 1330 C°. Also α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, LaAlO<sub>3</sub> and MgAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> compounds were formed at 850-1100 °C that the final phase transformation was occurred due to reaction between these three compounds. From the phase analysis results, it can be concluded that the main role of  $\gamma$  -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phase in structure is to reduce the synthesis temprature of MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel phase to a temperature of less than 1100 °C. Also chemical analysis results of granules and APS coating with optimal parameters indicated the existence of single phase structure and the second phase was not found.

Keywords: Lanthanum Hexaaluminate, Thermal Brrier coating, Solid State Reaction, Plasma Spray.

Journal homepage: ma.iaumajlesi.ac.ir

#### Please cite this article using:

Mohammad Mehdi Khorramirad, Mohammad Reza Rahimipour, Seyed Mohammad Mahdi Hadavi, Kourosh Shirvani Jozdani, Synthesis of the lanthanum magnesium hexaaluminate (LaMgAl11019) powder in order to plasma spray coating on the nickel super alloy as a thermal barrier coating, in Persian, New Process in Material Engineering, 2018, 12(3), 173-183.