



## بررسی مکانیزم عملکرد و عمر سیکلی حرارتی پوشش‌های مانع حرارتی توسعه یافته $Gd_2Zr_2O_7$ اعمالی به روش پاشش پلاسمایی

ارائه کننده: محدثه تابش فر

مکان: سالن سمینار دانشکده مهندسی مواد

زمان: سه شنبه، ۳۰ دی ماه، ساعت ۱۰ صبح

اعضای کمیته داوری

اساتید مشاور: دکتر قاسم دینی، Dr Kjell Wiik، Dr Mari-Ann Einarsrud

استاد راهنما: دکتر مهدی صالحی

اساتید داور: دکتر حمیدرضا سلیمی جزی - دکتر بهنام لطفی - دکتر مسعود عطاپور

### چکیده

در این پژوهش، ترکیبات سرامیکی جدید  $Gd_2Zr_2O_7$  و  $(GZO)_{1-x}(YbSZ)_x$  سنتز و به عنوان لایه فوقانی پوشش‌های مانع حرارتی (TBC) اعمال شدند. این ترکیبات دارای خواص بهتری از جمله هدایت حرارتی، پایداری فازی، مقاومت به زینترینگ و مقاومت شیمیایی خوب در برابر نمک‌های مذاب در مقایسه با پوشش‌های متداول زیرکونیای پایدار شده با ایتریا (YSZ) هستند. زیرکونات گادولونیوم ( $Gd_2Zr_2O_7$ )، با وجود داشتن معایبی نظیر چقرمگی شکست پایین و ناسازگاری با لایه رشد یافته حرارتی یکی از موادی است که قابلیت استفاده در لایه فوقانی در دماهای بالا را دارد. در میان ترکیبات زیرکونیای پایدار شده با عناصر نادر خاکی (RESZ)، زیرکونیای پایدار شده با ایتریا (YbSZ) بهترین پایداری فازی و چقرمگی شکست عالی را نشان داده است، لذا به عنوان عامل چقرمه کننده برای  $Gd_2Zr_2O_7$  قابل استفاده است. در این پژوهش، ابتدا ترکیبات اولیه  $YbSZ$  (حاوی ۵ درصد مولی ایتریا) و  $Gd_2Zr_2O_7$  به ترتیب به روش‌های هم‌رسوبی و آلیاژسازی ساخته شدند و سپس ترکیبات مختلف  $(GZO)_{1-x}(YbSZ)_x$  به مدت ۱۰ ساعت در دمای  $1600^\circ C$  در کوره با اتمسفر هوا قرار داده شده‌اند. بررسی‌های فازی و ساختاری تمام ترکیبات توسط آزمون‌های الگوی پراش پرتو ایکس و آنالیز رامان انجام شد. سپس خواص مختلف شامل سختی، چقرمگی شکست، مدول الاستیک، ضریب انبساط حرارتی و نفوذ حرارتی ترکیبات مختلف اندازه‌گیری و مقایسه شدند. در مرحله بعد، پودرهای  $GZO$  و  $(GZO)_{0.5}(YbSZ)_{0.5}$  به کمک دستگاه خشک‌کن پاششی گرانوله شد. سه نوع پوشش پودرهای  $GZO$  و  $(GZO)_{0.5}(YbSZ)_{0.5}$  و دولا به  $YSZ/(GZO)_{0.5}(YbSZ)_{0.5}$  به روش پاشش پلاسمایی اعمال و با پوشش تجاری  $YSZ$  مقایسه شدند. پس از بررسی فازی و ریزساختاری این پوشش‌ها، آزمون‌های مقاومت به خوردگی و مقاومت به اکسیداسیون انجام شد و رفتار آن‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. چهار استحاله فازی شامل پیروکلر-پیروکلر نامنظم، پیروکلر-فلوئوریت، فلوئوریت-فلوئوریت/تتراگونال، فلوئوریت/تتراگونال-تتراگونال به ترتیب در ترکیبات سرامیکی حاوی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ درصد وزنی  $YbSZ$  رخ داد که بر کلیه خواص مکانیکی و حرارتی تاثیرگذار نشان داد. ترکیب سرامیکی  $(GZO)_{0.5}(YbSZ)_{0.5}$  بیشترین چقرمگی شکست را در میان ترکیبات با ساختار مکعبی دارا بود. ضریب انبساط حرارتی کلیه ترکیبات سنتز شده در محدوده  $10^{-3} \times 10^{-1} K^{-1}$  قابل مقایسه با ضریب انبساط حرارتی ترکیب متداول مورد استفاده (YSZ) در پوشش‌های مانع حرارتی است. ضریب نفوذ حرارتی ترکیبات  $(GZO)_{1-x}(YbSZ)_x$  روند کاهشی با افزایش مقدار  $YbSZ$  نشان داد. نتایج آزمون خوردگی داغ پوشش‌های اعمال شده، نشان داد که فاز  $GdVO_4$  به عنوان محصول اصلی خوردگی در تمامی پوشش‌ها بوده است و تنها پوشش  $GZO$ ، به علت چقرمگی شکست ضعیف پس از گذشت زمان ۲۴ ساعت از آزمون، دچار ترک‌های شدید و نهایتاً به شکست پوشش منجر شد. نتایج آزمون اکسیداسیون پس از گذشت زمان ۱۰۰ ساعت در دمای  $900^\circ C$  نشان داد که هر چند افزایش ضخامت لایه TGO تا پایان آزمون اکسیداسیون در پوشش  $GZO$  کمتر از سایر پوشش‌ها بوده است، ولی چقرمگی شکست ضعیف آن و عدم تطابق ضریب انبساط حرارتی بیشتر آن با لایه میانی منجر به شکست پوشش شد. در نهایت، پوشش  $(GZO)_{0.5}(YbSZ)_{0.5}$  را می‌توان به عنوان دستاورد این پژوهش جهت اعمال در لایه فوقانی پوشش‌های مانع حرارتی معرفی کرد.

**کلمات کلیدی:** پوشش مانع حرارتی، زیرکونات گادولونیوم، پایداری فازی، زیرکونیای پایدار شده با ایتریا، چقرمگی شکست، خوردگی داغ و اکسیداسیون