



سال دهم، شماره پنجاه و هفتم

بهار ۱۳۹۸

ISSN: ۱۷۲۵-۳۳۵۱

« با درجه علمی ترویجی »

صاحب امتیاز: انجمن سرامیک ایران

مدیر مسئول: دکتر مسعود محبی

سر دبیر: دکتر علیرضا سوری

مدیر اجرایی: سعیده علیشاهی

گردآوری مطالب: محبوبه پیریایی

نشانی: تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده

مهندسی مواد و متالورژی، دفتر انجمن سرامیک ایران

صندوق پستی: تهران، ۱۱۱-۱۶۸۴۵

تلفن: ۷۷۸۹۹۳۹۹

دورنگار: ۷۷۸۹۹۳۹۹

پست الکترونیکی: info@jicers.ir

نشانی سایت اینترنتی: www.jicers.ir

طراحی، گرافیک و صفحه آرای: تمام طرح ۷۷۲۰۹۲۲۸

هیات تحریریه:

دکتر علیرضا آقایی	پژوهشگاه مواد و انرژی
دکتر محمد رضوانی	دانشگاه تبریز
دکتر رسول صراف ماموری	دانشگاه تربیت مدرس
دکتر پروین عزیزاده	دانشگاه تربیت مدرس
دکتر حسین مولایی	شرکت ایرانا
دکتر علیرضا میرحبیبی	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر رحیم نقی زاده	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر علی محمد هادیان	دانشگاه تهران
دکتر عباس یوسفی	شرکت لعاب مشهد

گروه مشاوران:

دکتر علی اصغر بهنام قادر	پژوهشگاه مواد و انرژی
مهندس نادر خلیلی	فرآورده‌های دیرگلاز مهر آریان فارس
مهندس سیروس روشنفکر فلاح	شرکت تجهیز مواد پیشگام
مهندس محمد روشنفکر فلاح	انجمن تولید کنندگان کاشی و سرامیک کشور
مهندس میر حسام الدین داعی نیایی	شرکت گل سرخ گستر آمل
مهندس علی زاویه	انجمن صنفی کارفرمایی صنعت مواد نسوز
مهندس حسین زجاجی	انجمن صنفی صنعت شیشه
مهندس محمود سالاریه	شرکت آرمنیاز
دکتر آرمان صدقی	دانشگاه بین الملل امام خمینی
دکتر احمد صفری	دانشگاه ایالتی نیوجرسی
مهندس حسین عزیزیان	صنعت سیمان
دکتر مهران غفاری	شرکت اشکان پارت آفرین
دکتر عباس فاضلی	سازمان زمین شناسی کشور
دکتر کاووس فلامکی	دانشگاه امیرکبیر
مهندس عباسعلی قصابی	شرکت چینی زرین ایران
مهندس حسین قصابی	دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر ابراهیم قاسمی	پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ
دکتر کاظم قنبری	دانشگاه شفیلد انگلستان
دکتر مهرداد کشمیری	دانشگاه بریتیش کلمبیا
دکتر علیرضا گنجی	شرکت معدنی و صنعتی سوراوچین عقیق
دکتر حمیدرضا نعمتی	شرکت لعابیران
دکتر امیر عباس نوربخش	دانشگاه آزاد

اصلاح و خلاصه کردن مطالب با نظر مترجمان و نویسندگان انجام می‌شود. مسئولیت محتوای مقالات به عهده نویسندگان و مترجمان است. مطالب ارسالی برگردانده نمی‌شود.

تازه‌ها	
۱	اخبار انجمن سرامیک ایران
۱	گزارش دوازدهمین کنگره سرامیک ایران
۳۱	اخبار شرکت‌ها و مراکز پژوهشی
۳۱	استفاده از فناوری ایرانی برای ارتقاء پوشش‌های تزئینی کاشی و سرامیک
۳۲	افزایش ظرفیت تولید نانوغشاهای سرامیکی برای پاسخ به نیاز بازار
۳۳	خط جدید تولید کاشی «سرام نگار» ساوه به زودی راه‌اندازی می‌شود ...
۳۳	گلایه برخی صنعتگران یزد از فرایند بازگشت ارز به کشور
۳۴	جبران رشد قیمت کاشی و سرامیک با افزایش نرخ فروش ساختمان
۳۶	اخبار علمی
۳۶	افزایش مقاومت خوردگی قطعات با دستگاه‌های لایه‌نشانی بومی / کاربرد ...
۳۷	تصفیه آب خاکستری با غشاهای سرامیکی نانوساختار وارد «فهرست بها» شد.
۳۷	اسپری آبگریز کننده کاشی و سرامیک به بازار رسید.
۳۸	صلاحیت تایید شده سرامیک در جایگزینی مفاصل
۳۸	Arthroplasty زانو بدون فلز (مفاصل سرامیکی)
۳۹	سامسونگ galaxy s10+ نوع سرامیکی
۳۹	ماده جدید دو بعدی (2D) با استفاده از نور به سرعت و با اطمینان آب را تصفیه می‌کند.
۴۱	مقالات پژوهشی
۴۱	بررسی تأثیر نانو ذرات TiO_2 بر رفتار سینتر فاز مایع $SiC-Al_2O_3-Y_2O_3$
۵۳	مقالات مروری
۵۳	بررسی روش‌های سنتز و خواص نانوذرات $Li_4Ti_5O_{12}$ (LTO)
۶۱	مروری بر پوشش‌های سرامیکی سخت مورد استفاده در اصلاح سطح ایمپلنت‌های فلزی
۶۹	سنتز و اصلاح نانو لوله‌ی TiO_2 به عنوان الکتروود ابر خازن
۷۶	بررسی ویژگی‌های قالب‌های سرامیکی پره‌های توربین تک کریستال و پلی کریستال ...
۸۷	معرفی پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی
۸۹	لیست اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران
۹۷	تقویم رویدادهای سرامیک

اخبار انجمن سرامیک ایران

گزارش دوازدهمین کنگره سرامیک ایران

۱۰ و ۱۱ اردیبهشت ۹۸

دانشگاه علم و صنعت ایران

دوازدهمین کنگره سرامیک ایران در تاریخ ۱۰ و ۱۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ در دانشگاه علم و صنعت ایران برگزار گردید. مهندس محمد روشنفر به عنوان دبیر کنگره، دکتر جوادپور به عنوان دبیر علمی، دکتر افتخاری به عنوان دبیر اجرایی و خانم سعیده علیشاهی به عنوان مدیر اجرایی کنگره، با مشارکت و همکاری اعضای هیات مدیره انجمن مسئولیت برگزاری کنگره را بر عهده داشتند.

دوازدهمین کنگره سرامیک به عنوان بزرگ‌ترین رویداد در حوزه سرامیک کشور، هر دو سال یک بار با هدف آشنایی بیشتر با دستاوردهای علمی و صنعتی در سال‌های اخیر و همچنین ترسیم فعالیت‌های آتی با نگاهی به آینده با حضور اساتید، صنعتگران، پژوهشگران و دانشجویان فعال در این حوزه برگزار می‌گردد.

قابل ذکر می‌باشد در این کنگره، از مجموع مقالات دریافتی (بیش از ۱۵۰ مقاله) پس از دو مرحله داوری و بررسی در جلسات کمیته علمی، حدود ۹۰ مقاله مورد پذیرش نهایی قرار گرفتند که ۳۵ مقاله جهت ارائه در بخش پوستر و ۵۵ مقاله در بخش ارائه شفاهی انتخاب گردید. در میان پوسترهای ارائه شده، ۴ پوستر به عنوان پوستر برتر برگزیده شد و از ارائه دهندگان آن‌ها در مراسم اختتامیه تقدیر به عمل آمد. همچنین تعداد ۶ مقاله توسط سخنرانان ویژه داخلی و ۴ مقاله در بخش کارگاه‌های آموزشی، توسط اساتید ارائه شد.

از جمله محورهای اصلی کنگره می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاشی، چینی، لعاب، رنگدانه و جوهر
- شیشه و شیشه سرامیک
- مواد دیرگداز
- سرامیک‌ها در محیط زیست و انرژی
- سرامیک‌های زیست سازگار و زیست فعال
- سرامیک‌های الکتریکی، نوری و مغناطیسی
- روش‌های نوین تولید پودر و قطعات سرامیکی
- سرامیک‌های سازه‌ای اکسیدی و غیراکسیدی

حامیان کنگره

حامیان دوازدهمین کنگره سرامیک ایران



انجمن سرامیک ایران



دانشگاه صنعتی امیرکبیر



وزارت صنعت، معدن و تجارت



جمهوری اسلامی ایران



ISC
Iranian Scientific Conference Center

حامی اصلی



انجمن علمی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک کشور

حامیان طلایی




دیرگداز مهر
ایران فارس

حامیان ویژه

کاشی ایفا



حامیان نقره ای



مهرگداز



سینا کاشی



پویاهمراه سرام



کاشی ناین



لیمون چینی اراک



کاشی گسری



تکسرام



لیمون چینی اراک



گوستار سرامیک

حامیان برنزی



فخر گروپ



لیوا گلاس



فروزه کاشی



آلوند کاشی



کاشی آلوند



کاشی آلوند



فخر گروپ



فخر گروپ



کاشی تبریز



کاشی تبریز



کاشی تبریز



یافته‌های سرامیکی پیشرفته

حامیان مطبوعاتی



IR CEC



ایران سرامیک



ایران سرامیک



ایران سرامیک



ایران سرامیک



ایران سرامیک

افتتاحیه

مراسم افتتاحیه در روز سه شنبه ساعت ۸:۳۰ صبح، در سالن امام خمینی دانشگاه علم و صنعت ایران با حضور استادان، پژوهشگران و پیش‌کسوتان علم و صنعت سرامیک ایران، کارشناسان صنعت و دانشجویان برگزار شد. در این مراسم، پس از تلاوت آیات قرآن کریم و پخش سرود ملی، آقای دکتر نقی زاده، ریاست دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران، ضمن خوشامدگویی به شرکت کنندگان، در رابطه با لزوم ایجاد ارتباط بین صنعت و دانشگاه سخنانی ارائه کردند. سپس آقای مهندس محمد روشنفکر، دبیر کنگره و ریاست انجمن سرامیک، پس از خیرمقدم به حضار، گزارشی اجمالی از روند برگزاری کنگره و فعالیت‌های انجمن ارائه نمودند. ایشان خاطر نشان کردند هدف از برگزاری این کنگره توجه به صنعت سرامیک، اهمیت به پژوهش و پر کردن جای خالی علم در صنایع با هدف ارتباط صنعت با دانشگاه می‌باشد.



آقای دکتر نقی‌زاده ریاست دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران



آقای مهندس روشنفر دبیر کنگره

در ادامه، سخنانی راهبردی در مورد چالش‌های روبه‌رو در حوزه علم و صنعت سرامیک توسط سخنرانان ویژه از جمله جناب آقای دکتر مارقوسیان، آقای حاج ابراهیم عسگریان، مهندس محمد روشنفر و مهندس سیروس روشنفر ارائه گردید. عناوین سخنرانی‌های سخنرانان ویژه به شرح زیر می‌باشد:

دکتر واهاک مارقوسیان	مروری بر گذشته، حال و آینده رشته مهندسی و علم سرامیک ایران
حاج ابراهیم عسگریان	چالش‌های فراروی صنعت ایران
محمد روشنفر	بازخوانی صنعت کاشی و سرامیک و نقش این صنعت در توسعه پایدار و رسیدن به اقتصاد نوظهور
سیروس روشنفر	چه باید کرد؟



در ابتدا جناب آقای دکتر مارقوسیان، بنیان گذار علم سرامیک در ایران، پس از تشکر از عوامل اجرایی کنگره، سخنرانی خود را با موضوع "مروری بر تاریخچه علم و صنعت سرامیک در ایران" آغاز نمودند. ایشان ضمن تاکید بر اهمیت ارتباط صنعت و دانشگاه، به مقایسه شرایط آموزش و پژوهش در رشته سرامیک در دوران قبل و بعد از انقلاب اسلامی پرداختند. طبق سخنان

ایشان در دوران قبل از انقلاب، آموزش و پژوهشی در رشته سرامیک وجود نداشت اما با ایجاد سیاست‌هایی مبنی بر تخصصی شدن رشته‌های فنی و تاسیس رشته سرامیک در دانشگاه علم و صنعت ایران و همچنین تالیف پایان نامه‌ها و مقالات متعدد در این زمینه، مشکلات موجود تا حد زیادی حل شد و در حال حاضر بالغ بر ۲۰ دانشگاه و مراکز آموزشی رشته سرامیک را دارا می‌باشند. همچنین ایشان ضمن اظهار امیدواری در رابطه با کیفیت بالای تولیدات سرامیک در کشور در زمینه‌های کاشی، چینی، شیشه، به مشکلات موجود در صنعت سرامیک نیز اشاره نموده و راه حل رفع این مشکلات را توسعه ملی و ایجاد برنامه‌های راهبردی دانستند که این هدف، با ایجاد تعامل میان صنعت و دانشگاه تا حد زیادی قابل دستیابی می‌باشد.



در ادامه، جناب آقا عسگریان، بنیان گذار گروه صنعتی کاوه، با موضوع سخنرانی "چالش‌های فراروی صنعت ایران"، سخنانی در رابطه با وضعیت فعلی صنعت شیشه در ایران و راه حل‌های مناسب جهت مبارزه با چالش‌های پیش رو ارائه نمودند. طبق گفته ایشان، ایران ایران از نظر تولید و صادرات محصولات متنوع شیشه از جمله شیشه‌های فلوت، بطری، شیشه‌های اتومبیل، شیشه‌های مشجری و ... در جایگاه مناسبی قرار داشته و همچنان در حال توسعه می‌باشد. ایشان به نقش نیروهای متخصص و جوان در توسعه صنایع در کشور تاکید ویژه‌ای داشتند.



پس از آقای عسگریان، سخنرانی آقای مهندس محمد روشنفکر، ریاست انجمن صنفی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک کشور و ریاست انجمن سرامیک ایران، با عنوان "بازخوانی صنعت کاشی و سرامیک و نقش این صنعت در توسعه پایدار و رسیدن به اقتصاد نوظهور" انجام شد. ایشان در ابتدا با انجام مقایسه‌های آماری، اطلاعاتی در مورد ۱۰ کشور برتر تولیدکننده کاشی و سرامیک، ۱۰ کشور برتر مصرف کننده کاشی و سرامیک و ۱۰ کشور اول صادرکننده کاشی و سرامیک در جهان ارائه نمودند که در همه این موارد، کشور چین جایگاه اول را داشت در حالی که برای کشور ایران جایگاه قابل قبولی مشاهده نمی‌شد که بنا به گفته ایشان، علل اصلی این موضوع، مواردی از قبیل سیاست گذاری‌های غلط، فاصله چشمگیر میان ظرفیت نصب شده و تولید واقعی، افزایش قیمت‌ها و نرخ ارز می‌باشد. ایشان خاطر نشان کردند یکی دیگر از مشکلات جدی که در کشور ما در صنعت کاشی و سرامیک وجود دارد این است که تنها بازار هدف کشور ایران در صنعت کاشی و سرامیک کشور عراق می‌باشد. این امر به معنای عدم وجود توازن و نفوذپذیری در بازارهای مختلف جهانی می‌باشد. لذا لازم است با کشورهای بازار هدف، تعرفه‌های ترجیحی داشته باشیم تا در یک بازار خاص متمرکز نباشیم. ایشان ضمن ابراز تاسف در رابطه با عدم وجود سیاست گذاری ملی و عدم هماهنگی بین نهادها معتقد بودند که راه حل این مشکلات، شنیده شدن صدای نهادهای مردم نهاد و انجمن‌های علمی و صنفی و نزدیک شده صنعت و دانشگاه به یکدیگر می‌باشد. در پایان ایشان اشاره نمودند از جمله چالش‌های موجود در صنایع، مدیریت بهینه کردن انرژی در واحدهای تولیدی و همچنین ساختار زیست محیطی موجود در صنایع می‌باشد. از این رو لازم است بهینه سازی زیرساخت‌های زیست محیطی انجام گیرد. این فاکتورها پیش نیاز توسعه پایدار و رسیدن به اقتصاد نوظهور می‌باشند.



در بخش پایانی مربوط به سخنرانی‌های کلیدی، آقای مهندس سیروس روشنفکر سخنرانی تحت عنوان "چه باید کرد" ارائه نمودند. ایشان سخنان خود را در مورد اهمیت صنعت نسوز در زندگی روزمره آغاز نمودند و سپس در مورد مشکلات موجود در صنعت دیرگداز ایران و راه حل‌های آن‌ها نکاتی مطرح نمودند. بنا به گفته ایشان، عوامل تعیین کننده دیرگداز مواردی از جمله انرژی، مواد اولیه و سیاست‌ها می‌باشند که راهکارهای مورد نظر، تولید مواد اولیه جایگزین و تولید محصولات جدید و تغییر الگوی مصرف (استفاده از مونولیتیک‌ها) می‌باشد. لذا برای انجام این ۳ راهکار، لازم است بین تولیدکننده مواد اولیه، مصرف کننده و تولیدکننده دیرگداز یک تعامل برقرار گردد که این عوامل نیازمند علم و به کارگیری دانش می‌باشند.

افتتاحیه نمایشگاه نیز صبح روز سه شنبه ۱۰ اردیبهشت ماه پس از مراسم افتتاحیه با حضور شرکت کنندگان و مدعوین انجام شد. در نمایشگاه دوازدهمین کنگره سرامیک حدود ۳۰ غرفه متشکل از شرکت‌های فعال در زمینه تولید کاشی و سرامیک، نسوز و مواد دیرگداز، شیشه و شیشه سرامیک و ... حضور داشتند که اسامی آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

انجمن صنفی تولیدکنندگان کاشی و سرامیک کشور	
ساخت پره توربین مینا-پرتو	کاشی ایفا
سیمان سپاهان	ساکمی ایران
کاشی الوند	فرآورده‌های دیرگداز مهر آریان فارس
کیمیا رازی	کاشی کسری
شیشه قزوین	سیناکاشی
شیشه لیا	تهیه و تولید مواد نسوز کشور
یافته‌های سرامیکی پیشرفته	کاشی تکسرام
لعاب مشهد	کاشی نایین
صنایع الکترونیک شیراز	فرآورده‌های نسوز مهرگداز
شرکت پژوهشی الکترون	کاشی فخار رفسنجان
فصلنامه الماس	پویا همراه سرام
نشریه سرامیک و ساختمان	لیمون چینی آزاد
مرکز سرامیک ایران	پژوهشگاه رنگ
	پژوهشگاه مواد و انرژی
	دانشگاه علم و صنعت ایران









در روز سه شنبه بعد از ظهر، ارائه مقالات شفاهی توسط دانشجویان و اساتید در حوزه موضوعات کاشی، چینی، لعاب، رنگدانه و جوهر، سرامیک در محیط زیست و انرژی، مواد دیرگداز، شیشه و شیشه سرامیک و سرامیک‌های سازه‌ای اکسیدی و غیراکسیدی به صورت همزمان در سالن امام خمینی و سالن‌های جانبی دانشکده علوم پایه دانشگاه علم و صنعت ایران انجام شد.





همچنین مقالات پذیرفته شده در بخش پوستر نیز توسط ارائه دهندگان در مکان‌های تعیین شده جهت ارائه نصب شد.



صبح روز چهارشنبه از ساعت ۸:۲۰ ادامه مقالات توسط اساتید و دانشجویان در حوزه‌های سرامیک‌های الکتریکی، نوری و مغناطیسی، سرامیک‌های زیست سازگار و زیست فعال و روش‌های نوین تولید پودر و قطعات سرامیکی در تالار دکتر حسنی و سالن ۱ به صورت شفاهی ارائه شد. در سالن امام خمینی نیز به صورت همزمان، کارگاه‌های آموزشی با حضور اساتید در حال برگزاری بود. عناوین کارگاه‌های آموزشی ارائه شده و اساتید ارائه دهنده به شرح زیر می‌باشد:

دکتر عباس یوسفی	بررسی کاربرد و خواص پوشش‌های با ساختار شیشه‌ای و شیشه-سرامیکی در صنایع (گذشته، حال و آینده)
مهندس سیروس ارجمندنیا	روش‌های اجرایی و علمی موثر در کاهش هزینه‌ها
دکتر بیژن افتخاری یکتا	اصول حاکم بر طراحی لعاب‌های شیشه - سرامیک
دکتر مهدی قهاری - دکتر امیر مسعود اعرابی	نگاهی بر چالش‌های جهانی شدن کاشی سنتی ایرانی







روز چهارشنبه ساعت ۹ تا ۱۰ صبح، داوری مقالات پذیرفته شده به صورت پوستر، توسط تعدادی از اساتید همراه با مطرح کردن سوالاتی از ارائه دهندگان انجام گرفت. پس از آن از شرکت کنندگان در نمایشگاه دوازدهمین کنگره سرامیک ایران، در حضور دبیران کنگره و اعضای هیات مدیره انجمن سرامیک، با اهدا لوح تقدیر بعمل آمد.

















مراسم اختتامیه

مراسم اختتامیه کنگره، بعد از ظهر روز چهارشنبه ۱۱ اردیبهشت ماه در سالن امام خمینی برگزار شد. در این مراسم، پس از سخنرانی آقای دکتر جوادپور در مورد نحوه ارزیابی مقالات ارائه شده به صورت پوستر، برگزیدگان در بخش پوستر برتر مورد تقدیر قرار گرفتند. اسامی برگزیدگان و عناوین پوسترهای برتر به شرح زیر می‌باشد:

سننز و مشخصه یابی نانو رنگدانه $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_4$ به روش ژل پلی اکریل آمید	مسعود رحیمیان، احسان صائب‌نوری
بررسی اثر نوع سوخت بر سننز متانتینانات لیتیوم به روش احتراقی محلول	حورا کاس پور، احمدرضا عباسیان، مهدی شفیعی آفرانی
بررسی شرایط فرآیندی مناسب و بهینه برای فلش سینتر با روش شبیه سازی	سیاوش محمد علیزاده، سید محمد میرکاظمی، حامد محبی
تاثیر انواع میدان الکتریکی (AC و DC) بر خواص فیزیکی و ریزساختار بدنه‌های زیرکونیایی 3YSZ تهیه شده به روش فلش زینترینگ	اکبر امینی، سید محمد زهرایی، سیدمحمد میرکاظمی





سپس آقای دکتر افتخاری گزارشی از نحوه داوری و تعیین برگزیدگان مسابقه جایزه علمی دکتر مارقوسیان ارائه نمودند.

جایزه علمی دکتر مارقوسیان

شرایط شرکت در مسابقه

- حداکثر سن تا تاریخ ارسال مدارک ۳۵ سال
- دارا بودن مدرک دانشگاهی در رشته سرامیک
- دارا بودن محصولات پژوهشی معسر در حوزه مهندسی سرامیک
- داشتن توصیه‌نامه معرفی‌نامه از طرف ۳ نفر از استادان
- حداکثر فاصله زمانی از تاریخ تکمیل تا ارسال مدارک ۳ سال
- عضویت در انجمن سرامیک ایران

مدارک مورد نیاز

- نامه درخواست
- رزومه و مستندات رزومه
- کپی شناسنامه و کارت ملی
- کپی مدارک تحصیلی و معدل
- عکس‌های مربوطه در زمینه سرامیک
- توصیه‌نامه‌ها برای انتخاب پژوهشگر و تر
- مدارک گواهی زمان فارغ‌التحصیلی
- پایان‌نامه‌های مطالعات تحصیلی

جهت دآوری با بررسی درخواست‌ها و در نظر گرفتن مدارک رله تحصیلی، افتخارات، ضربات تکرار و دیگر موارد مستند موجود در رزومه، فرد برگزیده را انتخاب و برای دریافت جایزه معرفی خواهد نمود.

مهلت ارسال مدارک تا ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۷

در مراسم اختتامیه کشور، به فرد برگزیده لوح تقدیر، جایزه‌های ارزنده و بهره‌مندی از ۵ سال عضویت رایگان انجمن سرامیک ایران اهدا خواهد شد.



جایزه علمی دکتر مارقوسیان هر دو سال یکبار همزمان با برگزاری کنگره دوسالانه سرامیک ایران از بین دانش‌آموختگان دانشگاه‌های داخل کشور به یک نفر پژوهشگر جوان برگزیده در حوزه سرامیک اهدا می‌شود. پژوهشگران جوان در صورت دارا بودن شرایط لازم می‌توانند در این مسابقه شرکت نمایند.

@congress2019@ICerS.ir
www.ICerS.ir
021 - 77899399

به علت برابری امتیازات دو نفر از شرکت کنندگان، جایزه مسابقه علمی دکتر مارقوسیان مشترکا به جناب آقای دکتر امید یعقوبی زاده و سرکار خانم دکتر نسیم نایب پاشایی اهدا گردید و از برگزیدگان، با اهدای لوح تقدیر و سکه بهار آزادی تقدیر شد.





در ادامه از آقای دکتر بیت الهی و آقای مهندس زجاجی به عنوان چهره‌های شاخص در حوزه علم و صنعت سرامیک (بزرگان سرامیک) تقدیر به عمل آمد.

The 12th Congress of Iranian Ceramic Society

انجمن سرامیک ایران

مراسم تجلیل از بزرگان علم و صنعت سرامیک

مهندس حسین زجاجی

دکتر علی بیت الهی

همزمان با برگزاری مراسم اختتامیه دوازدهمین کنگره سرامیک ایران
یازدهم اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ - تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران

در این قسمت مختصری از زندگی نامه این بزرگان همراه با کلیبی از تصاویر آن‌ها پخش شد. همچنین آقای دکتر رضایت، همکار آقای دکتر بیت الهی و همسر آقای مهندس زجاجی خاطرات جالبی از این بزرگان بیان کردند.







در ادامه، کلیپی تهیه شده توسط کادر اجرایی با مرور بر اتفاقات روی داده در دو روز کنگره پخش شد و در پایان، از شرکت‌های حامی برگزاری کنگره و عوامل اجرایی برگزاری دوازدهمین کنگره سرامیک ایران تقدیر به عمل آمد.





انتخابات انجمن

در انتهای روز چهارشنبه ۱۱ اردیبهشت، پس از اتمام مراسم اختتامیه، دوازدهمین دوره انتخابات هیات مدیره انجمن سرامیک ایران با حضور اعضای حقیقی و حقوقی انجمن و اساتید سرامیک برگزار شد. در ابتدا گزارشی از عملکرد انجمن و هیات مدیره دوره ۱۱ توسط خانم علیشاهی (مدیر اجرایی انجمن) ارائه شد و پس از آن معرفی کاندیداها و رای گیری انجام گرفت.





نتیجه دوازدهمین دوره انتخابات هیات مدیره انجمن سرامیک ایران پس از بررسی آرا به صورت زیر می‌باشد:

اعضای اصلی هیات مدیره:

- آقای دکتر جعفر جوادپور (دانشگاه علم و صنعت ایران)
- آقای مهندس حسین زجاجی (انجمن صنفی صنعت شیشه)
- آقای دکتر رحیم نقی زاده (دانشگاه علم و صنعت ایران)
- آقای دکتر مسعود محبی (دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین)
- آقای دکتر عباس یوسفی (لعاب مشهد)
- آقای دکتر علیرضا آقایی (پژوهشگاه مواد و انرژی)
- آقای دکتر امیر مقصودی پور (پژوهشگاه مواد و انرژی)

اعضای علی‌البدل هیات مدیره:

- آقای دکتر محمد باوند وندچالی (دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات)
- خانم دکتر مهری مشهدی (دانشگاه مالک اشتر)

بازرسان اصلی:

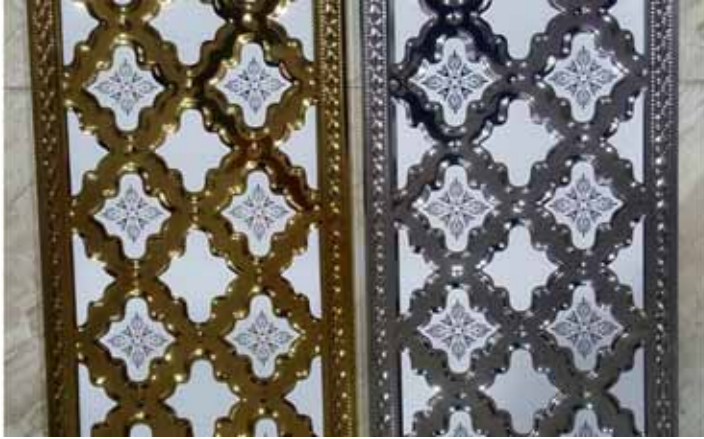
- آقای مهندس رضا محسنی طارمسری (شرکت پویا همراه سرام)
- خانم دکتر آدرینه ملک خاچاطوریان (دانشگاه صنعتی شریف)

بازرس علی‌البدل:

- خانم دکتر فاطمه سادات ترک نیک (پژوهشگاه مواد و انرژی)

اخبار شرکت‌ها و مراکز پژوهشی

استفاده از فناوری ایرانی برای ارتقاء پوشش‌های تزئینی کاشی و سرامیک



گروه تولیدی آراسرام پس از گذشت یک سال از دریافت گواهی نانومقیاس، با فروش بیش از ۸۰ هزار مترمربع کاشی و سرامیک نانویی، جایگاه خود را در میان مصرف‌کنندگان تثبیت کرده و پس از موفقیت در بازار داخل در اندیشه ایجاد دفتر نمایندگی فروش در کشورهای همسایه است. این شرکت از تجهیزات ایرانی برای پوشش‌دهی محصولات خود استفاده می‌کند.

با گذشت بیش از یک سال از شروع فعالیت

گروه تولیدی آراسرام در حوزه فناوری نانو و دریافت گواهی نانومقیاس برای فناوری نانوپوشش‌دهی کاشی و سرامیک، محصولات نانویی این شرکت نه تنها جایگاه خود را در بازار تثبیت کرده، بلکه به برخی از کشورهای همسایه نیز صادر شده است.

فرهاد غفاری، مدیرعامل گروه تولیدی آراسرام می‌گوید: «در حال حاضر محصولات نانویی آراسرام به صورت مستمر در بازار توزیع شده و روزانه بیش از ۲۰۰ مترمربع کاشی و سرامیک دارای پوشش نانویی در بازار به فروش می‌رسد. بخشی از این محصولات به کشورهای عراق، آذربایجان و افغانستان صادر می‌شود. با توجه به این که اندکی بیش از یک سال است که کار خود را در حوزه نانو آغاز کرده‌ایم، همین نتایج امیدوارکننده است و ما برای توسعه بازار برنامه‌هایی داریم».

وی افزود: «با توجه به استقبال بازار به ویژه پذیرش این محصولات در کشورهای همسایه، به دنبال ایجاد دفتر نمایندگی در برخی از کشورهای همسایه هستیم تا فروش محصولات در منطقه به صورت مستقیم از طریق نمایندگی آراسرام انجام شود. در طول یک سال گذشته و پس از دریافت گواهی نانومقیاس، بیش از ۸۰ هزار متر مربع کاشی و سرامیک نانویی توسط گروه تولیدی آراسرام به بازار عرضه شده است که پیش‌بینی می‌شود که ایجاد دفتر نمایندگی بتواند حجم فروش را در آینده افزایش دهد».

مدیرعامل گروه تولیدی آراسرام درباره فناوری مورداستفاده در محصولات این شرکت می‌گوید: «ما از نانوپوشش حاوی ترکیبات تیتانیوم به عنوان پوشش تزئینی روی کاشی و سرامیک استفاده می‌کنیم که این فناوری توسط گروه تحقیق و توسعه آراسرام به دست آمده است. در این فناوری از دستگاه PVD برای لایه‌نشانی ترکیبات TiN استفاده می‌کنیم که این دستگاه نیز تولید داخل بوده و از شرکت یارنیکان صالح خریداری شده است. در واقع تمام فرآیند تولیدی محصولات نانویی در شرکت آراسرام بومی بوده و در داخل کشور توسعه داده شده است».

مهندس غفاری درباره انگیزه مشتریان از خرید کاشی و سرامیک دارای نانوپوشش تزئینی می‌گوید: «این محصولات به دلیل بهره‌مندی از فناوری نانوپوشش، از نظر ظاهری بسیار زیبا بوده و همچنین عاری از گردوغبار هستند بنابراین مصرف‌کنندگان نسبت به این محصولات علاقه‌مند می‌شوند. یکی از مشکلاتی که بانوان در منزل با آن دست‌به‌گریبان هستند، گردگیری کاشی و سرامیک است که در این محصول این چالش به حداقل می‌رسد. علاوه‌براین، ایجاد پوشش‌هایی به رنگ طلایی و نقره‌ای که از نظر بصری به زیبایی کاشی و سرامیک افزوده، مشتریان را برای خرید این محصولات ترغیب می‌کند».

لازم به ذکر است در حال حاضر فناوری نانو مزیت زیادی در صنعت کاشی و سرامیک ایجاد کرده به طوری که در حال حاضر کاشی و سرامیک آنتی‌باکتریال نیز توسط تولیدکنندگان به بازار عرضه شده است. این صنعت پتانسیل‌های بالایی برای صادرات

دارد. جمهوری اسلامی ایران با ظرفیت تولید ۷۰۰ میلیون مترمربع، عنوان چهارمین تولیدکننده کاشی و سرامیک جهان را یدک می‌کشد. در سال ۱۳۹۶ ایران بیش از ۱۴۷ میلیون مترمربع کاشی به ارزش ۳۹۵ میلیون دلار به ۵۲ کشور صادر کرده است. ایجاد خواص آنتی‌باکتریال و پوشش‌های تزئینی نانویی می‌تواند ارزش افزوده‌ی این محصولات را بهبود داده و شرایط بهتری برای فروش در داخل کشور و صادرات فراهم کند.

منبع: www.nano.ir

افزایش ظرفیت تولید نانوغشاهای سرامیکی برای پاسخ به نیاز بازار

برای پاسخ به نیاز موجود در کشور در بخش تصفیه پساب، شرکت دانش پژوهان صنعت نانو با جذب سرمایه موفق به افزایش ظرفیت تولید نانوغشاهای خود شده است.

شرکت دانش پژوهان صنعت نانو، یکی از شرکت‌های فعال در زمینه تولید نانوغشاهای سرامیکی، موفق به توسعه خط تولید خود شده است. این شرکت پس از موفقیت در پیاده‌سازی اولین سیستم تصفیه پساب در یکی از کارواش‌های شهر تهران، عملکرد سامانه نانوغشاء سرامیکی خود را به صورت عملی به اثبات رساند و پس از آن بود که توجه بسیاری از شرکت‌های را به خود جلب کرد.

علی‌اکبر بابالو، مدیرعامل شرکت دانش پژوهان صنعت نانو درباره فناوری تصفیه پساب می‌گوید: «سال گذشته این سامانه برای کارواش سانترال نو نصب و راه‌اندازی شد و در حال حاضر بعد از گذشت یکسال این سامانه به خوبی کار می‌کند و این کارواش درخواست افزایش حجم تصفیه پساب را دارد».

بابالو یکی از مشکلات اصلی شرکت دانش پژوهان صنعت نانو را ظرفیت کم تولید نانوغشاهای سرامیکی می‌داند به طوری که اگر قرار باشد این سامانه در یک روستا برای تصفیه آب نصب و راه‌اندازی شود، شرکت دانش پژوهان صنعت نانو با ظرفیت فعلی باید دو سال کار کند تا غشاء مورد نیاز برای این روستا را بسازد.

مدیرعامل شرکت دانش پژوهان صنعت نانو می‌گوید: «برای حل مشکل ظرفیت تولید نانوغشاء، اقدام به جذب سرمایه کردیم و در حال حاضر شرکت دانش پژوهان صنعت نانو در حال توسعه خط تولید است. پیش از این ظرفیت ما برای تولید نانوغشاء کمتر از یک متر مربع در روز بود که با توسعه این خط ظرفیت ما در خرداد ماه از یک متر مربع رسیده و تا ۲۲ بهمن به ۱۲ متر مربع خواهد رسید. با این ظرفیت می‌توانیم غشاء مورد نیاز برای تصفیه آب یک روستا را در مدت زمان بسیار کوتاهی تولید کنیم».

بابالو معتقد است که افزایش ظرفیت تولید نانوغشاء، پیش از توسعه بازار ضروری است چرا که با ظرفیت کم امکان پاسخ‌دهی به نیاز بازار وجود ندارد وی می‌افزاید: «بنابراین در عین حال که بازاریابی برای جلب نظر مشتریان را انجام می‌دادیم به فکر توسعه خط تولید نیز بودیم».

در این سامانه، آب خاکستری به صورت هیبریدی با استفاده از غشاهای نانوساختار سرامیکی چند کاناله تصفیه و گندزدایی می‌شود. جنس غشاهای به کار رفته در این دستگاه، سرامیکی بوده که اندازه‌ی حفرات این غشاها توسط مهندسان و متخصصان شرکت دانش پژوهان صنعت نانو با استفاده از فناوری نانو مهندسی شده است. این سامانه در دو مرحله‌ی میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون، پساب ورودی را تصفیه و آب را برای استفاده‌ی مجدد به سیستم باز می‌گرداند. در مرحله‌ی میکروفیلتراسیون چربی‌ها، شوینده‌ها و دیگر درشت مولکول‌ها و همچنین تا حدود زیادی میکروب‌ها و میکروارگانیسم‌ها و در مرحله‌ی اولترافیلتراسیون تمامی میکروارگانیسم‌ها و حتی لاشه‌ی میکروارگانیسم‌ها از آب ورودی حذف می‌شود. محصول نهایی، آب با کیفیتی خواهد بود که دارای استانداردهای داخلی و جهانی است. همچنین فیلترهای این دستگاه را می‌توان با جریان معکوس آب تمیزی که تولید می‌شود، شستشو داد تا بدین ترتیب از گرفتگی غشاها جلوگیری شود؛ به این شکل که آب تمیز با فشار معینی در خلاف جهت جریان، از فیلتر عبور داده شده و باعث باز شدن حفره‌ها می‌شود. در نتیجه عمر غشاهای مورد استفاده در این دستگاه بسته به نوع پساب مورد استفاده، بین ۵ تا ۱۰ سال است.

منبع: www.nano.ir

خط جدید تولید کاشی «سرام نگار» ساوه به زودی راه‌اندازی می‌شود / افزایش تعداد کارگران شاغل به ۱۴۰ نفر



به گزارش ایلنا، امیر رضا زارع (مدیرعامل کارخانه سرام نگار) گفت: کارخانه «سرام نگار» ساوه پس از حدود دو سال (از سال ۹۵) تعطیلی و وقفه در فعالیت تولیدی، با سرمایه‌گذاری بخش خصوص دوباره با حدود ۱۰۰ کارگر فعال شده است.

به گفته وی، «طرح توسعه کارخانه از سال ۹۷ کلید زده شد، با سرمایه‌گذاری ۱۰ میلیارد تومانی دستگاه‌های جدید خریداری شده، خط دوم تولید به‌زودی راه می‌افتد، ۴۰ کارگر دیگر به جمع ما اضافه می‌شود و ظرفیت

تولید از ۱۵۰ هزار متر به ۳۰۰ هزار متر در هر ماه می‌رسد».

زارع افزود: در حال حاضر ۸۵ درصد تولیدات این کارخانه به ارزش ۱۵ میلیون دلار به عراق، افغانستان، ارمنستان، ترکمنستان، گرجستان و چند کشور دیگر صادر می‌شود.

وی اضافه کرد: در حالی که خاک صنعتی بیش از ۹۵ درصد کارخانه‌های کاشی و سرامیک کشور به روش گرانول‌تر تولید می‌شود در این کارخانه با بهره‌گیری از روش خشک مصرف آب به صفر رسیده است.

منبع: <https://www.ilna.ir/>

گلایه برخی صنعتگران یزد از فرایند بازگشت ارز به کشور

نماینده واحدهای تولید کاشی و سرامیک شهرستان ابرکوه در جمع مسئولان استان یزد رفع مشکلات مربوط به فرایند بازگشت



ارز و فشارهای بانک مرکزی و همچنین مسائل مربوط به حوزه واردات مواد اولیه به عنوان عمده مشکل این بخش خواستار شد.

به گزارش ایسنا، صنعت یکی از محورهای توسعه بسیاری از شهرستان‌های استان یزد است و در این میان صنایع کاشی و سرامیک از پتانسیل بالایی در میان دیگر صنایع برخوردار است به طوری که بنا به گفته‌ی رئیس سازمان صنعت، معدن و تجارت

استان، یزد نهمین تولیدکننده کاشی و سرامیک در دنیا محسوب می‌شود.

«محمدرضا علمدار یزدی» در نشستی که به منظور بررسی مشکلات و راهکارهای رونق بخشیدن به صنایع کاشی و سرامیک شهرستان ابرکوه در حضور مسئولان استان و شهرستان برگزار شد، استان یزد را نهمین تولیدکننده کاشی و سرامیک در دنیا خواند و بیان کرد: ظرفیت تولید سالانه این محصول در استان ۳۲۳ میلیون مترمربع است.

وی به وجود ۹۱۱ واحد صنایع معدنی در استان اشاره می‌کند و می‌گوید: مجموعه صنایع معدنی منجر به اشتغال ۳۷ هزار نفر در استان شده است که ۱۷ هزار نفر از آن‌ها در بخش تولید کاشی و سرامیک فعالیت دارند.

علمدار یزدی همچنین تصریح می‌کند: هم‌اکنون ۵۰ طرح نیمه تمام کاشی و سرامیک با پیشرفت فیزیکی بالای ۵۵ درصد در

استان وجود دارد که در صورت بهره‌برداری ۲۰۰ میلیون مترمربع به ظرفیت فوق‌الذکر افزوده شده و ۱۲ هزار فرصت شغلی جدید نیز ایجاد خواهد شد.

شهرستان ابرکوه یکی از شهرستان‌هایی است که رونق صنایع کاشی و سرامیک را در دستور کار توسعه صنعتی خود قرار داد و اکنون در این حوزه دارای سه واحد تولیدی دارای پروانه بهره‌برداری به نام‌های آرین، کوثر و سیمین است.

البته در مورد این سه واحد نیز باید یادآور شد که هر کدام این واحدها با مشکلات متعددی مواجه هستند و از عمده‌ترین آن شامل فرآیند بازگشت ارز و فشارهای بانک مرکزی و همچنین مسائل مربوط به حوزه واردات مواد اولیه است.

در حال حاضر کاشی سیمین با ظرفیت تولید چهار میلیون مترمربع در سال برای ۱۳۸ نفر فرصت شغلی ایجاد کرده است، واحد تولیدی آرین سرام نیز با ظرفیت اسمی سالانه هشت میلیون مترمربع که تعداد ۴۰۰ نیروی کاری را به خدمت گرفته که در صورت راه‌اندازی خطوط چهارم و پنجم آن فرصت‌های شغلی این واحد به ۵۰۰ نفر نیز افزایش خواهد یافت ولی در این رابطه درگیر مشکلات مربوط به واگذاری زمین است.

کاشی کوثر هم ظرفیت تولید ۵/۵ میلیون مترمربع دارد و برای ۱۷۱ نفر شغل ایجاد کرده است اما با مشکلاتی همچون کمبود ماشین‌آلات واحد خاک‌سازی، مسائل مربوط به واحد گرانول‌سازی و چاپ دیجیتال مواجه است.

«حسین اسلامی» نماینده واحدهای تولید کاشی و سرامیک ابرکوه پیرامون مشکلات این واحدها اظهار می‌کند: یکی از مشکلات اساسی این واحدها مربوط به بانک مرکزی است که وضعیت برخی از واحدهایی که از ارز بند «د» استفاده کرده‌اند را در هاله‌ای از ابهام قرار داده است.

وی با بیان این که دو واحد آرین و کوثر در شهرستان ابرکوه از ارز مذکور بهره گرفته‌اند، می‌افزاید: با وجود این که مجلس شورای اسلامی، استفاده از ارز بند «د» را تصویب کرده اما بانک مرکزی آن را اجرایی نکرده و هیچ پاسخی شفاف هم در این رابطه ارائه نمی‌دهد.

اسلامی به مسئله تعهدات ارزی نیز اشاره و بیان می‌کند: فرآیند بازگشت ارز در شرایط فعلی کشور کاملاً مبهم است به نحوی که برای ورود قطعه‌ای کوچک از خارج کشور علاوه بر تحریم‌های خارجی با تحریم‌های داخلی نیز مواجه می‌شویم و با سیاست‌های فعلی بانک مرکزی ۹۰ درصد سیستم این واحدها عملاً قفل شده است.

وی ادامه می‌دهد: معادل محصولات صادراتی باید ارز به کشور بازگردانده شود اما این فرآیند بازگشت به صورت شفاف بیان نشده و واحدها را دچار مشکل کرده است چرا که واحدهای تولیدی برای ادامه حیات نیاز به واردات مواد اولیه دارند و این در حالی است که بانک مرکزی واردات مواد اولیه را با قفل کردن سامانه غیرممکن کرده است.

اسلامی با تأکید بر بومی‌سازی صنعت تولید کاشی و سرامیک در یزد، عنوان می‌کند: باید از ظرفیت تولید و صادرات برای توسعه اقتصاد کشور و همچنین اشتغال مردم به خوبی بهره‌جست و این امر نیازمند فراهم کردن زیرساخت‌های موردنیاز و همچنین رفع مشکلات در این دو حوزه است.

البته «سید مسعود عظیمی» سرپرست معاونت هماهنگی امور اقتصادی و توسعه منابع استانداری یزد هم در این نشست نیاز ارزی کارخانه کاشی کوثر را هفت میلیون یورو و مقداری اعتبارات ریالی عنوان و ابراز امیدواری می‌کند: با توجه به قرار داشتن در سال رونق تولید و تلاش برای محقق کردن این شعار، مشکلات این واحد تولیدی با تلاش مسئولان استان و شهرستان برطرف شود.

منبع: <https://www.isna.ir/news/9>

جبران رشد قیمت کاشی و سرامیک با افزایش نرخ فروش ساختمان

رئیس اتحادیه کاشی‌ساز و کاشی‌فروش با بیان این که بازار داخلی از طریق تولیدات داخلی تأمین است و حجم قابل‌توجهی از محصولات داخلی به بازارهای هدف صادر می‌شود، گفت: با رفع برخی از مشکلات سامانه نیما، تا حدودی موانع تأمین مواد اولیه تولید برطرف شده است.

مصطفی گودرزی در گفت‌وگو با ایسنا، اظهار کرد: از سال گذشته شرایط تأمین مواد اولیه تولید کاشی و سرامیک با مشکلاتی همراه شد که این مشکلات تا حدودی حل شده اما همچنان سختی‌هایی در مسیر خرید و تأمین مواد اولیه پیش روی تولیدکنندگان است.

رئیس اتحادیه کاشی‌ساز و کاشی‌فروش تصریح کرد: کاهش مشکلات تأمین مواد اولیه و حل برخی مشکلات، به‌واسطه ثبات نرخ ارز و امکان ثبت سفارش در سامانه نیماست.



وی خاطر نشان کرد: در تأمین مواد اولیه، به بازار داخلی نیز رجوع می‌شود اما تولید لعاب و رنگ در داخل نیاز به خرید و تأمین ماده اولیه وارداتی دارد که در این زمینه باید به بازارهای دیگر رجوع شود. گودرزی عمده بازارهای مبدأ خرید و تأمین مواد اولیه تولید کاشی و سرامیک را ترکیه، اسپانیا و هندوستان بیان کرد و گفت: محصولات تولیدی به کشورهای هم‌چون کشورهای همسایه و آسیای میانه صادر می‌شود که حجم قابل‌توجهی از تولید در مسیر صادرات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

رئیس اتحادیه کاشی‌ساز و کاشی‌فروش تأکید کرد: در تأمین نیاز بازار داخلی هیچ کمبودی وجود ندارد و نیازی به واردات قابل‌توجه در این زمینه نیست و تنها برخی از محصولات خاص که در داخل کشور توان تولید آن‌ها وجود ندارد، باید از طریق واردات تأمین شود.

وی یادآور شد: در تأمین محصولات سفارشی و خاص خرید عموماً از کشورهای چین، ترکیه، ایتالیا و اسپانیا انجام می‌شود. گودرزی در پاسخ به این سوال که آیا افزایش قیمت مواد اولیه در خرید مصرف‌کننده داخلی تأثیرگذار بوده است؟ گفت: به دلیل رشد قیمت مسکن، رشد قیمت محصولاتی همچون کاشی و سرامیک که در ساختمان استفاده می‌شود، طبیعی بوده و هزینه خرید این محصولات در دل هزینه‌های ساختمان و فروش آن پوشش داده می‌شود.

منبع: <https://www.isna.ir/news/98040402254>

اخبار علمی

افزایش مقاومت خوردگی قطعات با دستگاه‌های لایه‌نشانی بومی / کاربرد آزمایشگاهی در دانشگاه‌های کشور

محققان یکی از شرکت‌های دانش‌بنیان با دستیابی به دانش فنی تولید دستگاه لایه‌نشانی توانسته‌اند لایه‌هایی با مقاومت خوردگی و سایش بالا بر روی قطعات ایجاد کنند و با توجه به این قابلیت این دستگاه‌ها در کارخانجات تولیدی کاربردی شده؛ از این رو کاربرد این دستگاه وارد فاز صنعتی شده است.

بابک رشیدی از محققان این طرح در گفت‌وگو با ایسنا، با بیان اینکه این شرکت دانش‌بنیان فعالیت خود را در زمینه طراحی و ساخت دستگاه‌های پوشش‌دهی در خلاً از سال ۱۳۸۴ آغاز کرد، گفت: این دستگاه‌ها در مقیاس‌های صنعتی و آزمایشگاهی طراحی و ساخته شده‌اند. دستگاه‌های آزمایشگاهی دارای محفظه‌های کوچکی هستند و برای لایه‌نشانی قطعات آزمایشگاهی و پژوهشگاهی کاربرد دارند.

رشیدی اضافه کرد: با افزایش تجربیات به سمت طراحی دستگاه‌های بزرگ‌تر لایه‌نشانی رفتیم و در حال حاضر دستگاه‌های صنعتی لایه‌نشانی این شرکت به عنوان یکی از تجهیزات اصلی کارخانجاتی چون تولید کاشی و سرامیک، شیرآلات، ظرف چینی و صنعت پراک‌آلات مطرح است.

وی با بیان اینکه این دستگاه می‌تواند بر روی سطوح مختلف فلزی، بلور و کاشی لایه‌هایی با رنگ‌های طلایی، نقره‌ای و ۷ رنگ، دودی و سایر رنگ‌ها ایجاد کند، اظهار کرد: لایه‌های ایجادشده از مقاومت به سایش و خوردگی بالایی برخوردار است. رشیدی در خصوص اعمال انواع رنگ‌های مختلف بر روی سطوح توضیح داد: همانطور که در روش آبکاری سنتی از فلزاتی مانند نیکل و کروم استفاده می‌شود، در این روش نیز برخی استفاده‌ها از برخی فلزات تعریف شده است. به عنوان مثال زمانی که فلز تیتانیوم در داخل دستگاه به عنوان ماده اولیه قرار می‌گیرد، در ترکیب با گازهای متنوع، ترکیب رنگ‌های مختلفی ایجاد می‌کند، به گونه‌ای که اگر گاز "آرگون" وارد سیستم شود، در ترکیب با تیتانیوم رنگ تیتانیوم را ایجاد می‌کند؛ از این رو محصول نهایی نقره‌ای خواهد شد.

وی با بیان اینکه گازهای مختلف در ترکیب با تیتانیوم، ترکیب رنگ‌های متنوعی می‌دهند، افزود: در ترکیب گاز نیتروژن با تیتانیوم، رنگ نقره‌ای به رنگ طلایی تبدیل می‌شود.

این محقق با تأکید بر اینکه هزینه‌های لایه‌نشانی با استفاده از این دستگاه نسبت به روش‌های آبکاری سنتی کمتر است، ضمن آنکه ماندگاری بالاتری دارد، ادامه داد: روش لایه‌نشانی با استفاده از این دستگاه جزو روش‌های پاک و سبز به شمار می‌رود؛ چراکه در روش‌های سنتی آبکاری، معمولاً همراه با پساب‌هایی است که موجب آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود. از آنجایی که فرآیندهای لایه‌نشانی در این دستگاه در محیط‌های خلاً است، هیچ مایع و یا اسیدی در فرآیندها استفاده نمی‌شود؛ از این رو روش مورد استفاده پاک و جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی است.

رشیدی به روش لایه‌نشانی مورد استفاده در این دستگاه اشاره کرد و افزود: از آنجایی که فرآیند لایه‌نشانی در دستگاه‌های ساخته شده در محیط خلاً انجام می‌شود، مولکول‌های رنگی از فاز جامد به فاز گاز، تبدیل و در فضا منتشر می‌شوند و زمانی که قطعات از مقابل این ذرات عبور می‌کنند، میان این ذرات و قطعات به دلیل وجود محیط خلاً، چسبندگی ایجاد می‌شود.

به گفته وی، در این فرآیند از آنجایی که قطب مثبت و منفی ایجاد می‌شود، ذرات جامدی که به گاز تبدیل شده‌اند، با شتاب بیشتری به سطح قطعه می‌نشینند و چسبندگی بهتری پیدا می‌کند.

محقق این طرح، نبود آلودگی و پساب را از مزیت‌های این روش دانست و ادامه داد: در حال حاضر کارخانجات مختلفی چون تولید شیرآلات، کاشی، ظروف آشپزخانه از این دستگاه‌ها خریداری کردند و محصولات این کارخانجات با روش لایه‌نشانی ما به بازار عرضه شده است، ضمن آنکه با کاربردی شدن این دستگاه در کارخانجات تولیدی، این محصول وارد فاز صنعتی شده است. رشیدی همچنین با اشاره به کاربردهای آزمایشگاهی دستگاه‌های لایه‌نشانی تولید شده، خاطر نشان کرد: تاکنون دانشگاه‌هایی

چون تهران، شریف، امیرکبیر، خواجه نصیر، الزهراء، اصفهان و مالک اشتر، سازه‌های آزمایشگاهی و پژوهشی این دستگاه را از ما خریداری کردند.

منبع: <https://www.isna.ir/news/98031306134>

تصفیه آب خاکستری با غشاهای سرامیکی نانوساختار وارد «فهرست بها» شد.

دستگاه تصفیه آب خاکستری با استفاده از غشاهای سرامیکی نانوساختار وارد فهرست بها شد. شرکت دانش پژوهان صنعت‌نانو تولید کننده این سامانه تصفیه پساب است. پیش از این از محصولات این شرکت در کارواش استفاده شده است.

فهرست بها، کتابچه‌ای حاوی لیست قیمت مواد و مصالح یا خدماتی است که پیمانکاران عمرانی از آن‌ها برای پروژه‌های داخل کشور استفاده می‌کنند. هر ساله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی از بهای رشته‌های مختلف پروژه‌های عمرانی را منتشر می‌کند. یکی از بخش‌های این فهرست به موضوع تاسیسات مکانیکی اختصاص داده شده که سامانه‌های تصفیه پساب از جمله زیرشاخه‌های آن محسوب می‌شوند. در لیست جدیدی که سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی برای سال ۹۸ منتشر کرده، دستگاه تصفیه آب خاکستری با استفاده از غشاهای سرامیکی نانوساختار نیز درج شده است.

آب خاکستری به پساب‌های خانگی، به استثنای خروجی فاضلاب سرویس‌های بهداشتی، گفته می‌شود که هنگام حمام کردن، ظرف شستن یا رخت‌شویی ایجاد می‌شود. شرکت دانش پژوهان صنعت‌نانو، این فناوری تصفیه آب خاکستری را ارائه کرده‌است که می‌توان با استفاده از آن، آب‌های خاکستری را دوباره به چرخه‌ی مصرف باز گرداند. این سامانه‌ی مبتنی بر میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون می‌تواند با تصفیه‌ی آب‌های خاکستری، ۷۰ درصد از آب مصرفی را بازیافت کند. در این سامانه، آب خاکستری به‌صورت هیبریدی با استفاده از غشاهای نانوساختار سرامیکی چند کاناله تصفیه و گندزدایی می‌شود. جنس غشاهای به‌کار رفته در این دستگاه، سرامیکی بوده که اندازه‌ی حفرات این غشاها توسط مهندسان و متخصصان شرکت دانش پژوهان صنعت‌نانو با استفاده از فناوری نانو مهندسی شده‌است. این سامانه در دو مرحله‌ی میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون، پساب ورودی را تصفیه و آب را برای استفاده‌ی مجدد به سیستم باز می‌گرداند. در مرحله‌ی میکروفیلتراسیون چربی‌ها، شوینده‌ها و دیگر درشت مولکول‌ها و همچنین تا حدود زیادی میکروب‌ها و میکروارگانیسم‌ها و در مرحله‌ی اولترافیلتراسیون تمامی میکروارگانیسم‌ها و حتی لاشه‌ی میکروارگانیسم‌ها از آب ورودی حذف می‌شود. محصول نهایی، آب با کیفیتی خواهد بود که دارای استانداردهای داخلی و جهانی است.

محصولات تصفیه پساب خاکستری که با استفاده از فناوری غشای سرامیکی نانوساختار تولید شده باشد، لازم است گواهی‌نامه نانو مقیاس را از ستاد نانوی معاونت علمی فناوری ریاست جمهوری دریافت کرده باشد.

منبع: www.nano.ir

اسپری آبگریز کننده کاشی و سرامیک به بازار رسید.

محققان موادی را با فناوری نانو تولید کردند که می‌تواند پوشش آبگریزی را روی سطوح کاشی و سرامیک اعمال کند.

به گزارش خبرنگار مهر، بررسی محصولات نانو و ارائه تاییدیه نانو مقیاس به آنها از جمله فعالیت‌های مهم ستاد توسعه فناوری نانو از ۴ سال گذشته بوده است. در واقع بررسی مواد و محصولات تولید و عرضه‌شده در حوزه فناوری نانو، سبب شفافیت بازار محصولات نانو شده و به ارتقای کیفی این محصولات و افزایش اعتماد مصرف کنندگان کمک می‌کند.



یکی از این محصولات که توسط یک شرکت دانش بنیان به تولید رسیده، نانوکلوئید ایجادکننده پوشش آبگریز روی سطوح کاشی و سرامیک است.

از آنجایی که جذب آب توسط انواع مصالح ساختمانی می‌تواند معایب بسیاری در پی داشته باشد این محصول تولید شده است. با توجه به نوع و کاربرد ماده مورد نظر، کاهش خواص مکانیکی و عملکردی و تأثیر بر ظاهر مصالح و سازه از جمله این عیوب بشمار می‌رود.

ایجاد پوشش‌های ضد آب روی انواع مصالح ساختمانی از تجمع بیش از حد آب روی سطح آن‌ها کاسته و اثرات مطلوبی در زیبایی و کارایی آن‌ها خواهد داشت. این اثرات در مورد سطوح کاشی و سرامیک نیز بروز کرده و از ایجاد لکه ناشی از خشک شدن قطرات آب جلوگیری می‌کند.

اخیراً ارائه محصولاتی بر پایه فناوری نانو در این حوزه گسترش قابل توجهی یافته است. این محصول اکنون در بازار موجود بوده و تاییدیه نانو مقیاس از ستاد توسعه فناوری نانو دریافت کرده است.

منبع: mehrnews.com/news/4651876

صلاحیت تایید شده سرامیک در جایگزینی مفاصل

شرکت های تولید کننده مفصل‌های سرامیکی از جمله BILOX توانسته با ارایه دانش تخصصی در زمینه توسعه و تولید، همراه با



مدیریت کیفیت بی‌نظیر، ایمپلنت‌های پیشرفته سرامیکی را بطور موفقیت آمیز، در زمینه‌های بالینی فعال کند و متخصصان پزشکی در سراسر جهان را پشتیبانی کند.

تکنولوژی پیشرفته سرامیک، برای جایگزینی مفصل مصنوعی ران، بیشتر و محبوب‌تر می‌شود. بخش تولیدات

پزشکی مهمترین تولید کننده در زمینه بیوسرامیک‌ها برای جایگزینی مفصل در عمل جراحی لگن (Hip Arthroplasty) است. این بخش همچنین اجزای سرامیکی برای سیستم‌های مدولار را به اکثریت سازندگان ارتوپدی در سراسر جهان ارائه می‌دهد. به عنوان یک رهبر بازار جهانی، Ceram Tcc با توجه به فن‌آوری نوآورانه مواد سرامیک خود، استانداردها را برای بیش از چهار دهه تعیین کرده است.

تا کنون هیچ ماده سازنده دیگری بجز سرامیک‌ها به عنوان اغلب برای زوج‌های سرامیکی BIOLOX استفاده نمی‌شود. بیش از ۱۵ میلیون محصول تنها از یکی از شرکت های تولید کننده مفصل‌های سرامیکی یعنی BIOLOX از سال ۱۹۷۴ تا کنون فروخته شده است. حدود ۶۰ درصد از همه بیماران در اروپای مرکزی که تحت عمل جراحی قرار دارند، ایمپلنت‌های سرامیکی را دریافت می‌کنند. تمام تولید کنندگان ارتوپدی در جهان، سیستم‌های جایگزین مفصل ران را با اجزای سرامیکی BIOLOX تایید می‌کنند. همکاری نزدیک شرکت‌های مهندسی بیوسرامیک با تولید کنندگان ارتوپدی، دانشمندان مواد و جراحان تضمین اساسی این موفقیت است.

منبع: t.me/IrCcc

Arthroplasty زانو بدون فلز (مفاصل سرامیکی)

تعداد عملیات جایگزینی مفصل زانوی سرامیکی هر ساله به طور پیوسته افزایش می‌یابد. کارشناسان برآورد می‌کنند که حدود ۲۰۰۰۰۰۰ جایگزین زانو هر ساله کاشته می‌شود. در نتیجه، جابجایی زانو اغلب جایگزینی مفصلی است، حتی در مواردی که جراحی جایگزین با مفصل ران بیشتر باشد.

امید به زندگی جمعیت جهان در حال حاضر بالاتر از همیشه است: به همین ترتیب، درخواست برای تحریک بیشتر و بهبود کیفیت زندگی پس از جایگزینی زانو نیز افزایش یافته است. موضوع جایگزینی زانو در بیماران جوان و فعال نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه جایگزینی زانو باید بتواند طول عمر طولانی ایمپنت را افزایش دهد.



علاوه بر این، عفونت، سایش پلی اتیلن، سوزش اپیلاسیون و آلرژی به فلز، یکی

از بزرگترین مشکلات آرتروسکوپی زانو هستند. سستی آسپتیک مکانیسم غالب شکست و تجدید نظر (۳۱/۲٪) پس از آن بی‌ثباتی (۱۸/۷٪)، عفونت (۱۶/۲٪)، پوشش پلی اتیلن (۱۰/۰٪)، آرتروفیروس (۶/۹٪) و مالاریاسیون (۶/۶٪) است. به همین دلیل است که انتخاب ماده ایمپلنت بسیار مهم است، به خصوص در خصوص ویژگی‌های پوششی و رفتار بیولوژیکی مواد انتخاب شده. سرامیک‌ها بهترین انتخاب در این زمینه‌ها هستند.

منبع: t.me/IrCcC

سامسونگ galaxy s10+ نوع سرامیکی

انتظار می‌رود سامسونگ برای گل سرسبد Galaxy S 10th Anniversary Galaxy S 10+ نسخه سرامیکی Galaxy S10+ را منتشر کند. از تجربه ما با سری Xiaomi Mi MIX، سرامیک احساس برتری بیشتری نسبت به نگهداری دارد و به نظر می‌رسد بهتر از شیشه است.



بر اساس اطلاعات نشت شده، این نمونه ممتاز "سرامیک سیاه" نامیده می‌شود. به نظر می‌رسد که کمی رنگ قهوه‌ای نسبت به گزینه رنگ Prism Black دارد. تفاوت رنگ به نظر می‌رسد بسیار ظریف است و ما انتظار داریم دستگاه دارای بدنه سرامیکی با کارایی بالاتری باشد.

در حالیکه سرامیک دارای مقاومت به خراش بیشتری از شیشه است، احتمالاً مقاومت بهتری در برابر ضربه مثلاً افتادن روی سطوح سخت را داشته باشد. این بهترین روش برای تجربه یک تلفن سرامیکی بدون جلد است. اما اگر قصد دارید یک جلد یا کاور بر روی آن قرار دهید، نسخه سیاه سرامیکی هیچ تفاوتی با نسخه شیشه‌ای معمولی نخواهد داشت.

منبع: t.me/IrCcC

ماده جدید دو بعدی (2D) با استفاده از نور به سرعت و با اطمینان آب را تصفیه می‌کند.

بیش از ۲ میلیارد نفر در سراسر جهان از آب آشامیدنی بی‌خطر برخوردار نیستند. امروزه مواد جدید سرامیکی یک روش کارآمد و سازگار با محیط زیست را ارائه می‌دهد تا آب را فقط با استفاده از نور خورشید تصفیه کند.

با استفاده از نور، نمونه اولیه "خام" می‌تواند آب آشامیدنی روزانه به اندازه کافی را برای چهار نفر در یک ساعت تصفیه کند. محققان در ۷ فوریه گزارش دادند که حین آزمایش‌ها، حدود ۱۰۰ درصد از باکتری‌ها در ۱۰ لیتر آب کشته شدند.

این ماده جدید، یک ورق دو بعدی گرافیتی کربن نیتريد، و نوعی ماده فتوکاتالیست است: تحت تاثیر نور مواد اکسید کننده‌ای

ایجاد می‌کنند که میکروب‌ها را از بین می‌برد. این طراحی از آسیب‌های دیگر تکنولوژی مشابه جلوگیری می‌کند. موثرترین فوتوکاتالیست‌ها امروزه حاوی فلزات می‌باشند که خود ممکن است به عنوان آلاینده‌های سمی به آب برسند. اما گروه دیگر



فوتوکاتالیست‌های غیر فلزی هستند، مانند ورق‌های دوبعدی که اندکی نسبت به فلزات کمتر الکترون‌ها را می‌توانند نگه دارند.

دانشمند علم مواد گوژی وانگ از دانشگاه تکنولوژی سیدنی و همکارانش ورق‌های بسیار نازک نیتريد کربن گرافیتی را ایجاد کرده و گروه‌های مشابه اسیدها و کتون‌ها را به آن اضافه کرده‌اند که الکترون‌ها را به سمت لبه‌های ورق‌ها جذب می‌کنند. در آنجا الکترون‌ها بر روی اتم‌های

اکسیژن در آب می‌پزند تا مواد شیمیایی اکسیژنی حلال میکروب مانند پراکسید هیدروژن تولید کنند.

این طراحی منجر به تخریب ۹۹/۹۹۹۹ درصد از باکتری‌ها، از جمله E. coli شده است. کارایی این محصول مشابه بهترین فلزات فوتوکاتالیست ارزیابی شده است. این ماده سرامیکی جدید میکروب‌ها را سریع‌تر از بهترین فوتوکاتالیست‌های فلزی آزاد که در آن عملیات کشتن میکروب‌ها بیش از یک ساعت طول می‌کشد. در این ماده تنها عرض ۳۰ دقیقه انجام می‌شود. این تیم تحقیقاتی سپس نانو ورقه‌ها را سطح داخل کیسه‌های پلاستیکی متصل کردند، و در مدت یک ساعت ۱۰ لیتر آب را بخوبی تصفیه کردند.

وانگ می‌گوید: "انگیزه ما این بود که یک روش کارآمد برای استفاده از نور خورشید برای تولید آب برای مناطق توسعه نیافته یا دورافتاده بدون عرضه مرکزی آب تمیز داشته باشیم"، او اشاره کرد بایستی این ماده حاوی ترکیب کربن و نیتروژن را ارزان‌تر تولید کنند. محققان قصد دارند با همکاری مهندسين طراحی را برای استفاده تجاری گسترش دهند.

منبع: t.me/IrCcc



zeynab.khishvand71@gmail.com

مهندس زینب خویشروند،
نویسنده‌ی اول مقاله، دانشگاه
صنعتی مالک اشتر

بررسی تأثیر نانو ذرات TiO_2 بر رفتار سینتر فاز مایع $SiC-Al_2O_3-Y_2O_3$

زینب خویشروند*، حمیدرضا بهاروندی

دانشگاه صنعتی مالک اشتر

چکیده: در این تحقیق تأثیر نانو ذرات TiO_2 بر خواص فیزیکی و مکانیکی سرامیک SiC با روش سینتر فاز مایع بدون فشار بررسی شد. استفاده از افزودنی‌های $Al_2O_3-Y_2O_3$ باعث ایجاد فاز مایع، و افزایش سینتر پذیری SiC شد. هم‌چنین استفاده از نانو ذرات TiO_2 (از ۰ تا ۱۰ درصد وزنی) منجر به سنتز درجای ذرات TiC در فاز زمینه SiC شد. حضور این ذرات در فاز زمینه باعث فعال شدن مکانیسم‌های انتقال جرم اضافی شده و قابلیت سینتر پذیری SiC را افزایش داد. به‌علاوه باعث کاهش دمای سینتر از $1950^\circ C$ به $1900^\circ C$ شد.

بهترین خواص به‌دست‌آمده مربوط به نمونه حاوی ۷/۵ درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 بود. در این نمونه دانسیته نسبی ۹۷ درصد، چقرمگی شکست $6/25 MPa.m^{1/2}$ ، مدول الاستیک $401/08 GPa$ و میکرو سختی $27/03 GPa$ حاصل گردید. فازهای تشکیل شده و ریزساختار نمونه‌ها، پس از سینتر با استفاده از آنالیز XRD و تصاویر $FESEM$ مورد تحلیل قرار گرفت. کلمات کلیدی: نانو ذرات TiO_2 ، سینتر فاز مایع، سینتر بدون فشار، سنتز درجا.

۱- مقدمه

SiC یک ماده مهندسی مهم است که خواص منحصر به فردی از قبیل مدول الاستیک بالا، چقرمگی و سختی بالا، پایداری حرارتی و شیمیایی خوب، ضریب انبساط حرارتی کم، استحکام بالا، مقاومت عالی در برابر اکسیداسیون و خوردگی، هدایت حرارتی بالا و ... دارد. بنابراین SiC برای کاربردهای دمابالا و کاربردهای صنعتی بسیاری مناسب است [۱-۳]. اما این گستره وسیع کاربرد به علت قابلیت سینتر پذیری ضعیف و پایین بودن چقرمگی شکست محدود می‌شود. برای بهبود قابلیت سینتر پذیری SiC چندین روش سینتر وجود دارد: سینتر بدون فشار حالت جامد، سینتر بدون فشار در حضور فاز مایع، سینتر با پرس گرم، سینتر با فشار گاز و ... در مقایسه این روش‌ها، روش سینتر بدون فشار در حضور فاز مایع به علت سهولت انجام کار، تجهیزات نسبتاً ارزان مورد نیاز، کارایی بالا و قابلیت تولید اشکال پیچیده، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. هم‌چنین در این روش دمای سینتر نسبت به سایر روش‌ها پایین‌تر است. در نتیجه عملکرد مکانیکی بالایی از سرامیک SiC مشاهده می‌شود. پس این روش علاوه بر بالا بردن قابلیت سینتر پذیری سرامیک SiC باعث بهبود خواص مکانیکی و افزایش چقرمگی شکست این سرامیک می‌شود. سینتر فاز مایع معمولاً نیازمند اکسیدهایی مانند $(Al_2O_3-Y_2O_3)$ به‌عنوان افزودنی‌های پخت برای بهبود سینتر و خواص مکانیکی است. باید توجه داشت که حضور فاز مایع در ریزساختار ماده باعث افت برخی از خواص خواهد شد. برای جبران این موضوع می‌توان از افزودنی سومی در کنار $Al_2O_3-Y_2O_3$ استفاده کرد تا منجر به بهبود خواص نهایی گردد [۴].

رسیدن به تراکم مورد نظر بدون افزودنی، سخت است. زیرا پیوند $Si-C$ کووالانت است و SiC ضریب نفوذپذیری کمی دارد. امروزه افزودنی‌های که به‌عنوان کمک سینتر برای سینتر SiC در فاز مایع استفاده می‌شوند، از تنوع وسیعی برخوردارند. مواد افزودنی مورد استفاده به‌منظور بهبود فرآوری، منجر به ایجاد فاز ثانویه و نهایتاً ضعف در برخی از خواص می‌شوند. علاوه بر این اثر مواد افزودنی تا حد زیادی بستگی به همگن بودن توزیع آن‌ها دارد. خواص مکانیکی SiC سینتر شده با

فاز مایع به شدت وابسته به میکروساختار است. که میکروساختار خود متأثر از نوع و مقدار فاز مایع، نوع پودر آغازکننده، دما، زمان و اتمسفر سینتر است. آگاهی از پارامترهای فرایند سینتر، ساختار و خواص مکانیکی، اساسی برای به دست آوردن SiC با خواص موردنظر است [۵-۱۰].

با توجه به تحقیقات صورت گرفته TiO_2 می تواند یک افزودنی مؤثر، در کنار $Al_2O_3-Y_2O_3$ برای سینتر SiC باشد. وجود کربن در کنار TiO_2 منجر به واکنش درجا، و تشکیل TiC در فاز زمینه شود. سنتز درجای TiC در زمینه ی SiC از رشد دانه جلوگیری می کند و منجر به بهبود خواص از جمله چقرمگی شکست می شود [۱۱-۱۴].

هدف از انجام این پروژه، بررسی تأثیر استفاده از نانو ذرات TiO_2 در نسبت های مختلف، بر روی خواص مکانیکی SiC تهیه شده به روش سینتر بدون فشار در حضور فاز مایع حاصل از افزودن ۱۰ درصد وزنی از اکسیدهای $Al_2O_3-Y_2O_3$ است. علاوه بر این انتظار می رود که TiC طبق واکنش زیر در دمای $1800^\circ C$ به صورت درجا، در زمینه ی SiC سنتز شود [۱۱]:



به نظر می رسد که استفاده از ذرات TiO_2 در مقیاس نانو، منجر به سهولت انجام واکنش فوق شود. و همچنین باعث همگن تر شدن توزیع ذرات TiC در فاز زمینه شود. انتظار می رود که استفاده از نانو ذرات TiO_2 در سنتز درجای TiC منجر به تولید این ذرات در ابعاد بسیار ریزتر در فاز زمینه خواهد شد. توزیع همگن و اندازه دانه ریز از ذرات TiC در فاز زمینه بهبود خواص مکانیکی و چقرمگی شکست را به دنبال خواهد داشت. مکانیزم های چقرمگی بخشی نانو ذرات TiO_2 بر سرامیک SiC عمدتاً، تنش های پسماند حرارتی، انحراف ترک و پل زدن است. در نهایت انتظار می رود که استفاده از نانو ذرات TiO_2 و افزودنی های $Al_2O_3-Y_2O_3$ باعث کاهش زمان و دمای سینتر SiC، شود.

فعالیت های تجربی

در این تحقیق SiC ، Al_2O_3 ، Y_2O_3 و نانو TiO_2 به عنوان پودرهای اولیه، بر اساس درصد وزنی های مشخص با هم مخلوط شدند. تشکیل ذرات TiC طبق واکنش زیر در دمای $1800^\circ C$ رخ می دهد.



طبق دیاگرام فازی دوتایی $Y_2O_3-Al_2O_3$ ترکیب مناسب از این دو اکسید انتخاب شد به طوری که پس از سینتر، فاز YAG در نمونه ها تشکیل شود.

جدول ۱- ترکیب نمونه ها

Al ₂ O ₃ (Wt%)	Y ₂ O ₃ (Wt%)	TiO ₂ (Wt%)	SiC (Wt%)	نمونه
۴/۳	۵/۷	۰	۹۰	۱
۴/۳	۵/۷	۱	۸۹	۲
۴/۳	۵/۷	۳	۸۷	۳
۴/۳	۵/۷	۵	۸۵	۴
۴/۳	۵/۷	۷/۵	۸۲/۵	۵
۴/۳	۵/۷	۱۰	۸۰	۶

پس از توزین مواد اولیه، عملیات آسیاب با کمک آسیاب سیاره ای به مدت سه ساعت و با سرعت ۲۰۰ rpm به همراه اتانول انجام شد. سپس به منظور حذف اتانول دوغاب حاصل به مدت ۵ ساعت در خشک کن حرارتی در دمای $100^\circ C$ قرار داده شد. بعد از خشک شدن، پودر به دست آمده از الک با مش ۶۰ به منظور گرانوله شدن پودر و یکنواختی آن، رد شد.

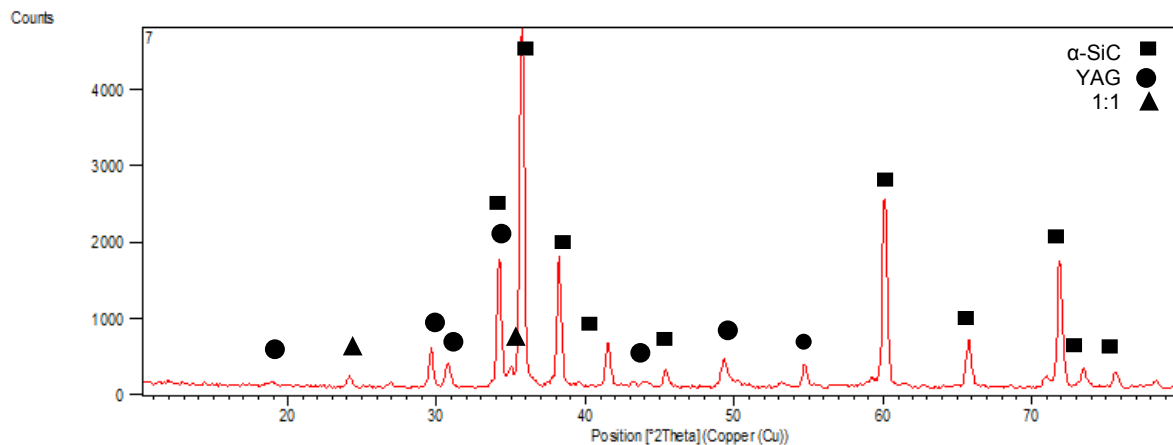
سپس قطعات خام به جهت انجام عملیات سینتر با استفاده از پرس هیدرولیک، به شکل استوانه هایی با قطر ۱/۶ cm و ارتفاع

۰/۷cm در فشار ۳۰ بار شکل دهی شدند. هم‌چنین به منظور افزایش یکنواختی و افزایش استحکام خام، نمونه‌های به دست آمده با پرس ایزواستاتیک سرد با فشار ۲۵۰ MPa به مدت یک دقیقه فشرده شدند. پیش از سینتر، عملیات حرارتی نمونه‌ها از دمای محیط تا دمای ۶۰۰°C به منظور خروج گازهای محبوس، با سرعت ۱°C/min انجام شد. هم‌ه‌ی نمونه‌ها تا دمای ۱۶۰۰°C با سرعت ۱°C/min، و از ۱۶۰۰°C تا ۱۹۰۰°C با سرعت ۲°C/min در اتمسفر آرگون سینتر شدند. در حین سینتر نمونه‌ها، دما در ۱۸۰۰°C به مدت نیم ساعت متوقف شد تا واکنش بین SiC و نانو ذرات TiO₂ صورت پذیرد، و TiC به صورت درجا تشکیل شود. دانسیته نمونه‌ها با روش ارشمیدس محاسبه شد. سختی نمونه‌ها با روش ویکرز اندازه گیری شد.

۲- نتایج و بحث

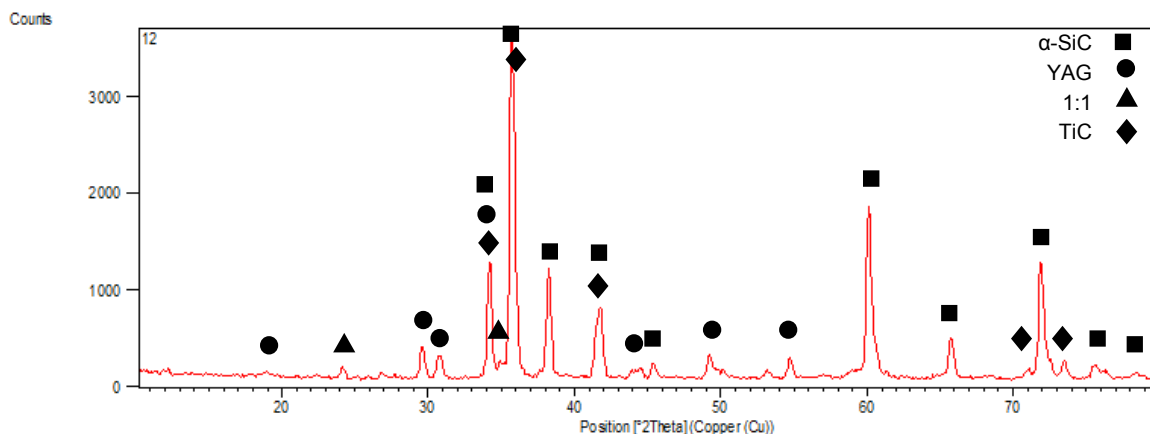
۲-۱- بررسی آنالیز فازی نمونه‌های سینتر شده

در شکل (۱) الگوی پراش اشعه ایکس از نمونه فاقد نانو ذرات TiO₂ ارائه شده است. فاز اصلی که در این الگو مشاهده شد α-SiC است. با توجه به مواد اولیه استفاده شده و نسبت آن‌ها، تشکیل فاز YAG (5Al₂O₃-3Y₂O₃) مورد انتظار بود. تشکیل این فاز نتیجه کریستالیزاسیون فاز مایع بین ذرات Y₂O₃-Al₂O₃ است. این فاز در نمونه مشاهده شد. هم‌چنین مقدار کمی از ۱:۱ (Y₂O₃-Al₂O₃) شناسایی شد. تشکیل این فاز به علت واکنش بین Al₂O₃ و SiC و از دست دادن آلومینا از طریق خروج گاز Al₂O از سیستم است.



شکل ۱- الگوی پراش اشعه ایکس از نمونه‌ی فاقد نانو ذرات TiO₂ و حاوی ۱۰ درصد وزنی Y₂O₃-Al₂O₃.

فرض می‌کنیم که در واکنش بین نانو ذرات TiO₂ و SiC، کل TiO₂ به TiC تبدیل شده باشد. این موضوع را می‌توان با XRD اثبات کرد. اگر TiO₂ وجود داشته باشد که به TiC تبدیل نشده باشد، با Al₂O₃ وارد واکنش خواهد شد و فاز تیتانات آلومینیوم (Al₂TiO₅) را تشکیل خواهد داد. این فاز در حالت خالص در دماهای بالاتر از ۷۰۰°C ناپایدار است و وجود آن در دماهای بالا تنها در صورتی ممکن است که عامل‌های ثبات دهنده‌ای مثل MgO، ZrO₂ یا SiO₂ در سیستم وجود داشته باشد. تنها عامل ثبات دهنده موجود در این سیستم SiO₂ موجود در SiC اولیه است [۱۵]. به منظور وجود و یا عدم وجود TiO₂ در نمونه‌ها الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌هایی که بالاترین درصد وزنی نانو ذرات TiO₂ را دارا می‌باشند بررسی شد. همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود هیچ‌گونه پیکی مبنی بر حضور فاز Al₂TiO₅ یافت نشد. این موضوع می‌تواند بیانگر تبدیل تمامی نانو ذرات TiO₂ به TiC قبل از رسیدن به دمای سینتر باشد. اما با توجه به عدم توانایی اشعه ایکس در شناسایی مقادیر بسیار کم، ممکن است مقدار کمی (یک یا دو درصد) از TiO₂ هم وجود داشته باشد.



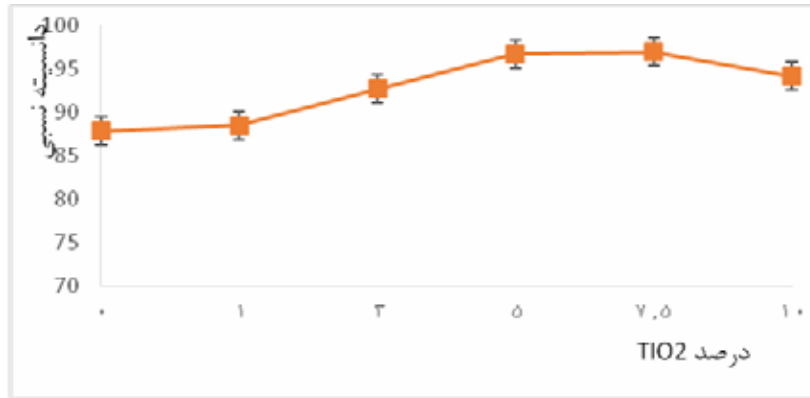
شکل ۲- الگوهای پراش اشعه ایکس از نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 و ۱۰ درصد وزنی $Y_2O_3-Al_2O_3$.

بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از الگوهای پراش اشعه ایکس می‌توان نتیجه گرفت که در سینتر SiC با استفاده از نانو ذرات TiO_2 ، TiC به صورت درجا در فاز زمینه ایجاد شده و کامپوزیت $SiC-TiC$ تشکیل شده است. آنالیز EDS نیز در ادامه این مطلب را تأیید می‌کند.

۲-۲- بررسی تأثیر افزودنی نانو ذرات TiO_2 بر دانسیته‌ی نسبی نمونه‌ها

تراکم یک سرامیک بستگی به اندازه ذرت، شکل و توزیع ذرات، در هنگام فشرده شدن و دمای سینتر دارد [۱۵]. که این عوامل با استفاده از آسیاب، پرس و پرس ایزواستاتیک سرد کنترل شدند و دمای مناسب سینتر در این سیستم با توجه به تحقیقات صورت گرفته، $1900^\circ C$ انتخاب شد. در روش سینتر بدون فشار در حضور فاز مایع، واکنش بین ذرات $Y_2O_3-Al_2O_3$ باعث ایجاد فاز مذاب (YAG) شده که این فاز به انتقال سریع ذرات SiC کمک می‌کند. بنابراین میزان این اکسیدها به طور مستقیم بر کسر حجمی فاز مذاب ایجاد شده در طول سینتر اثر گذاشته و یک عامل اثرگذار در کنترل دانسیته‌ی سرامیک‌ها محسوب می‌شوند. در صورتی که میزان فاز مذاب ایجاد شده مناسب نباشد، ذرات SiC را به طور کامل تر نمی‌کند که در نتیجه مقادیر زیادی تخلخل در نمونه‌های سینتر شده باقی خواهد ماند. زمانی که مقدار و ترکیب فاز مایع مناسب باشد ویسکوزیته آن به انتقال جرم مؤثر و در نهایت بهبود تراکم کمک می‌کند. ترکیب و دمای پخت تأثیر زیادی بر ویسکوزیته فاز مایع دارد [۱۶].

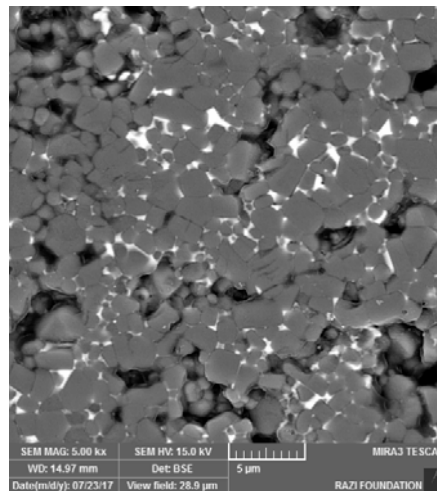
شکل (۳) نشان می‌دهد که دانسیته نمونه‌های سینتر شده با افزایش درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 تا حدود ۷/۵ درصد وزنی افزایش می‌یابد. پس می‌توان بیان کرد که دیگر عامل مؤثر بر دانسیته نمونه‌ها کسر حجمی ذرات TiC است که به صورت درجا در زمینه‌ی SiC تشکیل شده است. تشکیل ذرات TiC از رشد افراطی دانه‌های SiC جلوگیری می‌کند. و همچنین باعث کاهش واکنش بین SiC و Al_2O_3 شده و در نتیجه خروج مواد فرار از نمونه‌ها کاهش دهد، بنابراین از میزان تخلخل‌ها کاسته شده و دانسیته افزایش می‌یابد. از طرف دیگر اکتیویته بالا در محل تشکیل ذرات TiC منجر به افزایش نیرومحرکه سینتر شده و دانسیته نمونه‌ها افزایش می‌یابد [۱۱]. بیشترین مقدار دانسیته در نمونه حاوی ۷/۵ درصد وزنی از نانو ذرات TiO_2 مشاهده می‌شود. اگرچه حضور نانو ذرات TiO_2 ممکن است به دلیل از دست دادن CO در واکنش تبدیل TiO_2 به TiC باعث ایجاد تخلخل در نمونه‌ها شود، اما در اثر غلبه تأثیر عوامل فزاینده بر عامل کاهنده، افزایش دانسیته در حضور نانو ذرات TiO_2 کاملاً مشهود است. اما زمانی که درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 از ۷/۵ درصد وزنی بیشتر می‌شود دانسیته کاهش می‌یابد. این کاهش دانسیته در نمونه‌های سری اول از پنج درصد وزنی به بعد مشاهده شد. علت این کاهش دانسیته می‌تواند آگلومره شدن نانو ذرات TiO_2 در زمینه‌ی کامپوزیت باشد. علت دیگر به افزایش تخلخل‌های اضافی در مقادیر بالای نانو ذرات TiO_2 برمی‌گردد. چراکه با افزایش نانو ذرات TiO_2 میزان خروج گازهای حاصل از واکنش بیشتر شده و تخلخل‌های بیشتری بر جای می‌ماند و فاز مایع قابلیت پر کردن تمامی این تخلخل‌ها را نخواهد داشت. در ادامه میزان تخلخل، افت وزنی و انقباض خطی که همگی بر مقدار دانسیته نمونه‌ها مؤثرند بررسی خواهند شد.



شکل ۳- تغییرات دانسیته نسبی نمونه‌های سینتر شده بر حسب مقادیر مختلف از نانو ذرات TiO_2 .

۳-۲- بررسی ریزساختار نمونه‌های سینتر شده

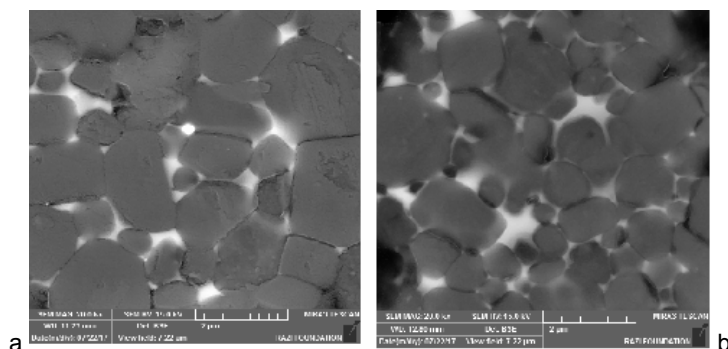
خواص مکانیکی SiC سینتر شده با فاز مایع به شدت وابسته به ریزساختار است. خود ریزساختار هم متأثر از نوع و مقدار فاز مایع، نوع پودر آغاز کننده، دما، زمان و اتمسفر سینتر است. [۵-۱۰]. با توجه به ریزساختار نمونه‌ها می‌توان اطلاعاتی هم چون مورفولوژی دانه، اندازه دانه، میزان همگنی توزیع فاز ثانویه و ... را به دست آورد. شکل (۴) تصویر FESEM از سطح نمونه‌های فاقد نانو ذرات TiO_2 ، که شامل ۱۰ درصد وزنی کمک سینترهای $Y_2O_3-Al_2O_3$ می‌باشند را نشان می‌دهد. شرایط سینتر و حضور فاز مایع در زمان سینتر، تأثیر اساسی بر ساختار و خواص بعد از سینتر دارد. در کنار تشکیل فاز ایتريم-آلومینیوم-گارنت (YAG) به‌عنوان فاز بین‌دانه‌ای، بین دانه‌های SiC، واکنش بین اکسیدها و کاربید سیلیسیم اتفاق می‌افتد که منجر به تولید گاز شده و کاهش وزن را به دنبال دارد [۱۷].



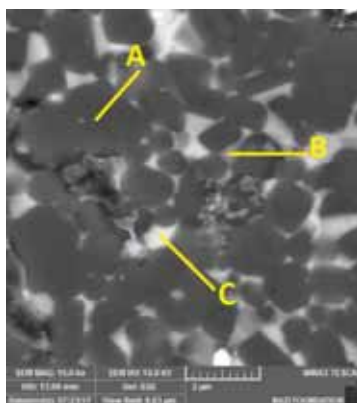
شکل ۴- تصویر FESEM از سطح پولیش و اچ شده نمونه‌ی فاقد نانو ذرات TiO_2 .

در شکل (۵) تأثیر نانو ذرات TiO_2 بر ریزساختار نمونه‌های سینتر شده قابل مشاهده است. حضور نانو ذرات TiO_2 باعث ایجاد ریزساختار با توزیع یکنواخت‌تری شده است و میزان تخلخل‌ها نیز کاهش یافته است. حضور نانو ذرات TiO_2 به تراکم ریزساختار کمک کرده است. علت این امر سنتز درجای ذرات TiC در زمینه‌ی SiC است. کسر کوچکی از ذرات TiC رشد دانه SiC را به شدت متوقف می‌کند و منجر به ایجاد ریزساختار با دانه‌های ریزتر می‌شود.

در شکل (۶) تصویری از نمونه حاوی ۱۰ درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 نشان داده شده است. در این تصویر سه نوع کنتراست فازی مشاهده می‌شود. که طبق آنالیز EDS از سطح نمونه‌های سینتر شده شکل (۷) مشاهده می‌شود که مناطق خاکستری رنگ، دانه‌های SiC، نقاط خاکستری روشن دانه‌های TiC و نواحی روشن بیانگر فاز مایع می‌باشند. این فازها در الگوهای پراش اشعه ایکس نیز مشاهده شدند.

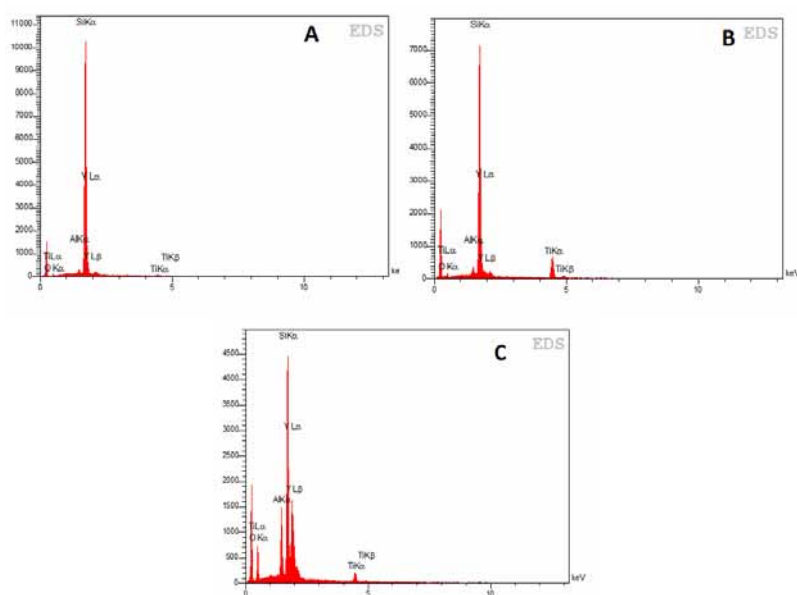


شکل ۵- تصاویر FESEM از سطح پولیش و اچ شده (a) فاقد نانو ذرات TiO_2 ، (b) حاوی ۷/۵ درصد از نانو ذرات TiO_2 .



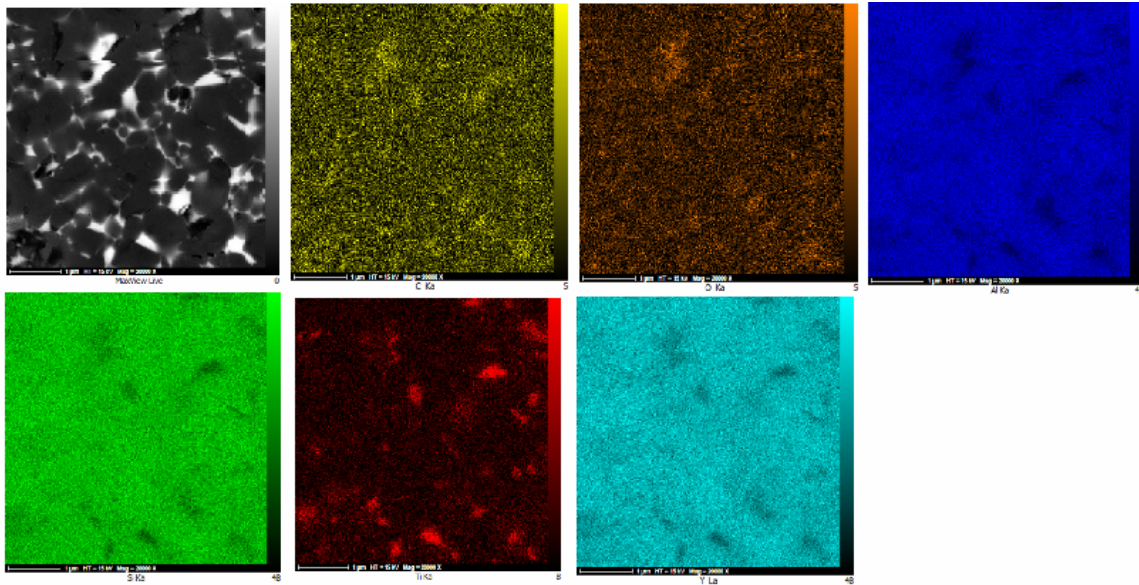
شکل ۶- تصویر FESEM از سطح پولیش شده بدون اچ، نمونه حاوی ۱۰ درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 .

با توجه به شکل (۷)، عناصر موجود در هر یک از نقاط A، B، و C نشان‌دهنده فازهای SiC، TiC، و YAG می‌باشند. این نکته حائز اهمیت است که با واکنش بین SiC و نانو ذرات TiO_2 که باعث سنتز در جای ذرات TiC می‌شود، باید Si به صورت آزاد در الگوی پراش اشعه ایکس مشاهده می‌شد تا با اطمینان خاطر تأیید کرد که تمامی نانو ذرات TiO_2 به TiC تبدیل شده است. اما متأسفانه در الگوی پراش اشعه ایکس Si شناسایی نشد. علت این موضوع به پایین بودن نقطه ذوب Si (1400°C) برمی‌گردد. چراکه عمل تبخیر در طول فرایند سینتر اجتناب‌ناپذیر است. و از طرف دیگر XRD توانایی تشخیص در غلظت‌های پایین را دارا نیست. اما آنالیز EDS وجود Si را تأیید کرد. پس می‌توان گفت که TiC تولید شده و Si وجود دارد.



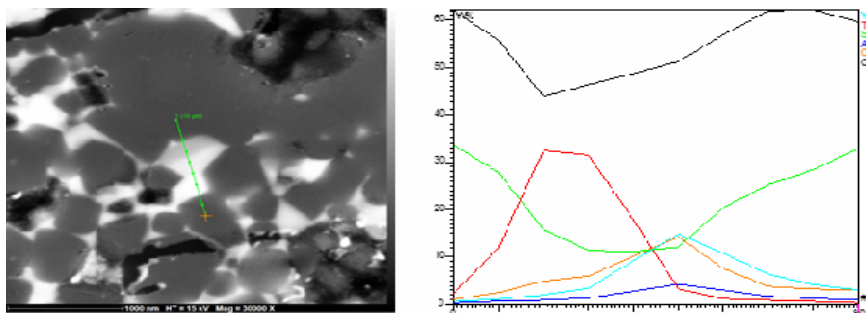
شکل ۷- نوع عناصر موجود در نمونه حاوی ۱۰ درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 .

برای بررسی توزیع فاز در زمینه ی SiC آنالیز map مورد تحلیل قرار می‌گیرد. به توجه به شکل (۸) مشاهده می‌شود که توزیع نسبتاً یکنواختی از ذرات فاز ثانویه در نمونه ایجاد شده است.



شکل ۸- آنالیز map نقطه‌ای از نمونه حاوی پنج درصد نانو ذرات TiO_2 .

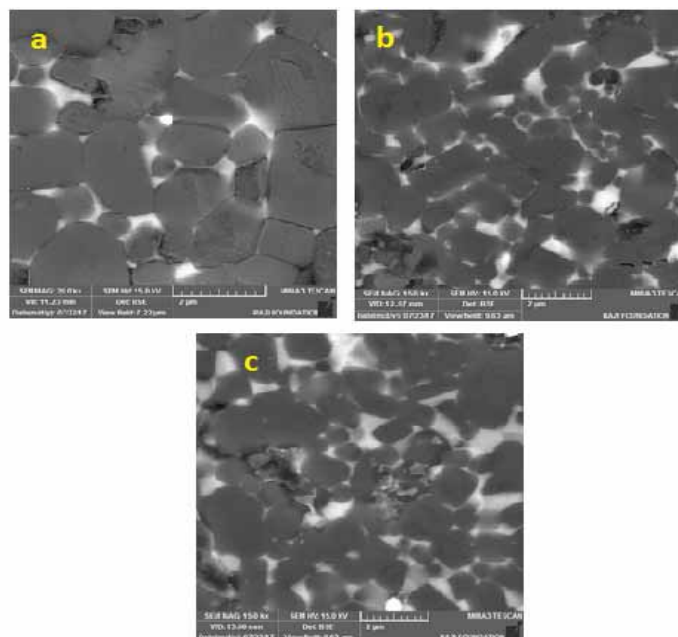
در نمونه‌ها توزیع یکنواختی از عناصر فاز ثانویه نشان داده شده است. این موضوع یکی از دلایل بهبود خواص SiC سینتر شده در حضور افزودنی‌های اکسیدی است. یکی از دلایل این توزیع یکنواخت استفاده از نانو ذرات TiO_2 در نمونه‌ها است. همانطور که در فصل دوم اشاره شد استفاده از نانو ذرات به‌عنوان فاز تقویت‌کننده در زمینه‌ی مانع از رشد دانه، و باعث ایجاد توزیع یکنواختی از ذرات فاز ثانویه در زمینه می‌شود [۱۸]. در تأیید مباحث گفته شده در این بخش، آنالیز خطی از نمونه حاوی ده درصد زنی از نانو ذرات TiO_2 در شکل (۹) نشان داده شده است. در این آنالیز یک خط شامل ده نقطه طوری انتخاب شد که تمام فازهای احتمالی را در برگیرد. در ابتدا و انتهای این خط مقادیر Si و C از همه عناصر دیگر بیشتر است، این موضوع بیانگر حضور دانه‌های SiC در ابتدا و انتهای این خط است. در ادامه خط با افزایش عنصر Ti روبرو می‌شویم که در این حالت غلظت کربن نیز قابل توجه است پس می‌توان گفت که فاز خاکستری کم رنگ همان ذرات TiC هستند که به‌صورت درجا در زمینه ایجاد شده‌اند. و در نهایت با افزایش عناصر O، Al و Y تشکیل فاز YAG تأیید می‌شود.



شکل ۹- آنالیز خطی از نمونه حاوی ۱۰ درصد نانو ذرات TiO_2 .

از شکل (۱۰) مشخص است که درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 اثر بارزی بر روی مورفولوژی و اندازه ذرات دانه‌های SiC در نمونه‌های سینتر شده دارد. با افزایش درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 ، دانه‌های کشیده SiC نیز افزایش می‌یابد. دلیل این رفتار مربوط است به برخورد دانه‌های SiC با ذرات TiC که به‌صورت درجا تشکیل شده است. در واقع با برخورد دانه‌های SiC به ذرات TiC رشد آن‌ها محدود می‌شود. تغییر در اندازه دانه و مورفولوژی سهم کاملاً متفاوتی در افزایش یا کاهش چقرمگی دارند که در بخش

چقرمگی مورد بحث قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل نیز پیدا است مورفولوژی غالب ذرات SiC به صورت هم‌محور است. تعداد محدودی دانه‌های کشیده از این ذرات نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰- تصاویر FESEM از سطح نمونه‌های پولیش شده

(a) فاقد نانو ذرات TiO_2 (b) حاوی پنج درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 (c) حاوی ۱۰ درصد وزنی نانو ذرات TiO_2 .

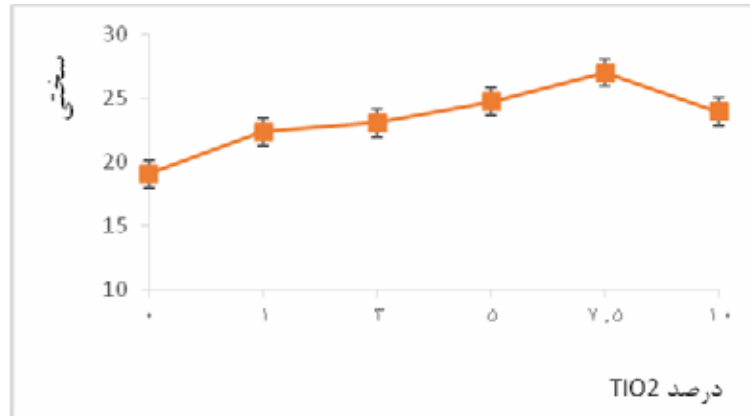
دانه‌های کشیده SiC در مقاومت به انتشار ترک مقاوم‌تر هستند. ذرات TiC رشد دانه‌های کشیده ضخیم را متوقف می‌کند این در حالی است که دانه‌های کشیده نازک SiC بین آن‌ها رشد می‌کند. همانطور که در شکل پیداست نمونه‌ی فاقد نانو ذرات TiO_2 دارای دانه‌های نسبتاً بزرگ با مورفولوژی هم‌محور است. با افزودن نانو ذرات TiO_2 به نمونه‌ها، ریزدانه شده و کشیده شدن تعداد محدودی از دانه‌ها مشهود است.

در نمونه‌هایی که درصد وزنی بالایی از نانو ذرات TiO_2 را دارا می‌باشند، امکان حضور آگلومرها بسیار زیاد است. این موضوع سبب افت خواص می‌شود. در این نمونه‌ها فاصله بین ذرات TiC که به صورت درجا تشکیل شده‌اند کم می‌شود و ذرات TiC می‌توانند از میان فاز مایع انتقال پیدا کنند، و رشد کنند. به این ترتیب میکرو ساختار شامل پنج درصد وزنی از نانو ذرات TiO_2 ریزدانه‌تر است و دانه‌های کشیده بیشتری نسبت با میکرو ساختار شامل ۱۰ درصد وزنی از نانو ذرات TiO_2 دارد.

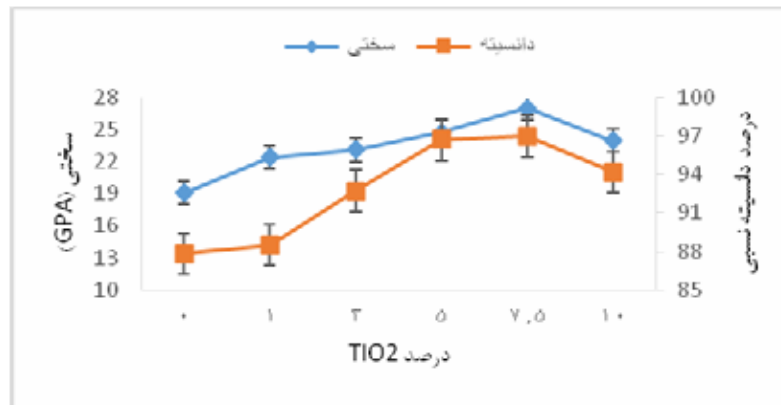
۲-۴- بررسی تأثیر افزودنی نانو ذرات TiO_2 بر سختی نمونه‌ها

سرامیک‌ها جزو سخت‌ترین مواد شناخته شده هستند. سختی بالای سرامیک‌های SiC، به دلیل پیوند کوالانت قوی بین اتم‌های Si و C است. رسیدن به مقادیر بالا از سختی به نحوه سینتر و کمک سینترها وابسته است. از نمونه‌هایی با دانسیته بالا اغلب سختی ویکرز بالا انتظار می‌رود. بیشترین سختی به دست آمده در نمونه‌های سینتر شده ۲۷ GPa، مربوط به نمونه حاوی ۷/۵ درصد وزنی از نانو ذرات TiO_2 است. شکل (۱۱) مقادیر مربوط به سختی نمونه‌ها را برحسب درصد وزنی افزودنی TiO_2 نشان می‌دهد.

با افزایش درصد نانو ذرات TiO_2 سختی رو به افزایش است. این افزایش تا ۷/۵ درصد وزنی از نانو ذرات TiO_2 مشاهده می‌شود و بعد از آن سختی نمونه‌ها اندکی افت پیدا می‌کند. این رفتار با دانسیته به دست آمده از نمونه‌ها کاملاً منطبق است. پس می‌توان نتیجه گرفت که سختی نمونه‌ها با میزان تخلخل موجود در آن‌ها ارتباط مستقیم دارد. ارتباط بین دانسیته نمونه‌ها و سختی آن‌ها در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۱- تغییرات سختی نمونه‌ها برحسب مقادیر مختلف از نانو ذرات TiO₂.



شکل ۱۲- رابطه بین سختی و دانسیته نمونه‌ها بر اساس درصد افزودنی نانو ذرات TiO₂.

افزودن نانو ذرات TiO₂ به نمونه‌ها منجر به بهبود سختی می‌شود. چراکه فاز TiC تشکیل شده به خودی خود سخت است و توزیع این فاز در زمینه‌ی SiC منجر به افزایش سختی کل نمونه‌ها می‌شود. این افزایش در میزان سختی نمونه‌های حاوی افزودنی نانو ذرات TiO₂ را می‌توان به ریز شدن دانه‌ها در ریزساختار به‌واسطه افزودن نانو ذرات TiO₂ و تشکیل TiC نسبت داد [۱۲]. چرا که ذرات TiC که به‌صورت درجا در زمینه‌ی تشکیل شده‌اند، رشد دانه‌های SiC را محدود می‌کنند. طبق معادله تجربی هال - پچ رابطه استحکام و سختی با اندازه دانه‌های کریستالی به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}} \quad (2)$$

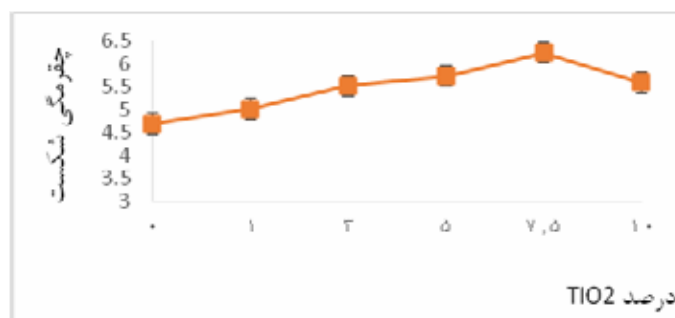
در این معادله، σ_y استحکام تسلیم ماده، σ_0 تنش اصطکاکی شبکه، k مقدار ثابت و d اندازه دانه‌های کریستالی است. طبق این معادله می‌توان بیان نمود که با کاهش اندازه دانه، سختی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش در مقدار TiO₂ تا ۱۰ درصد وزنی در ترکیب، میزان سختی نمونه‌ها کاهش یافته است. دلیل این موضوع می‌تواند آگلومره شدن ذرات با افزایش درصد وزنی نانو ذرات TiO₂ و کاهش دانسیته باشد. همچنین کاهش سختی در اثر افزایش درصد TiC در زمینه‌ی SiC، می‌تواند به این دلیل باشد که بر مقدار تنش پسماند حاصل از اختلاف ضریب انبساط حرارتی SiC و TiC ($\Delta\alpha = 2.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) افزوده شده و ممکن است موجب ایجاد ریزترک‌ها در نمونه سینتر شده گردد، در نتیجه سختی افت پیدا می‌کند [۱۹].

۲-۵- بررسی تأثیر افزودنی نانو ذرات TiO₂ بر چقرمگی شکست نمونه‌ها

با توجه به اینکه سرامیک‌ها ترد هستند و این خاصیت جز خواص ذاتی آن‌ها به شمار می‌رود، دستیابی به چقرمگی شکست مناسب در این مواد همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. با اینکه اغلب پیشرفت‌ها در رسیدن به بهبود چقرمگی شکست

سرامیک SiC با سینتر فاز مایع انجام شده، اما نتایج به دست آمده رضایت بخش نیست. یک راه مؤثر برای حل این مشکل استفاده از فاز تقویت کننده در زمینه ی SiC است. فاز تقویت کننده ایده آل باید خواصی نزدیک به زمینه داشته باشد و عملکرد کامپوزیت را تنزل نبخشد. TiC به علت خواصی هم چون سختی بالا، مدول الاستیک بالا، مقاومت در برابر خوردگی و سایش و به علاوه عدم انطباق ضریب انبساط حرارتی با SiC اغلب به عنوان فاز تقویت کننده برای بهبود چقرمگی شکست سرامیک SiC مناسب است [۲۰].

تغییرات چقرمگی شکست برحسب درصد نانو ذرات TiO₂ در شکل (۱۳) رسم شده است. مشاهده می شود که با افزایش درصد نانو ذرات TiO₂ تا ۷/۵ درصد وزنی برای نمونه ها چقرمگی شکست افزایش می یابد و از این مقدار به بالا چقرمگی شکست کاهش می یابد.



شکل ۱۳- تغییرات چقرمگی شکست نمونه ها برحسب مقادیر مختلف از نانو ذرات TiO₂.

با توجه به نتایج به دست آمده، میزان چقرمگی شکست در نمونه ها، سینتر شده در دمای ۱۹۰۰°C درجه سانتی گراد ۴/YMPa.m^{1/2} بود. با افزودن نانو ذرات TiO₂ به نمونه ها این مقدار به ۶/۲۵ MPa.m^{1/2} افزایش یافت. کاهش در چقرمگی شکست نمونه های حاوی درصدهای بالاتر از نانو ذرات TiO₂ به علت کاهش دانسیته و تشدید در رشد دانه های TiC است. اما به طور کلی تغییر در مقادیر چقرمگی شکست نمونه های سینتر شده از دو عامل اصلی زیر حاصل می شود:

عامل اول، تعامل مستقیم نوک ترک با ذرات TiC است که به صورت درجا در زمینه ی تشکیل شده اند. حضور ذرات TiC عموماً منجر به افزایش چقرمگی شکست به خاطر فعال شدن مکانیسم های افزایش چقرمگی شکست از قبیل استحکام بخشی در اثر تنش پسماند در سیستم های دو فازی، و انحراف ترک می شود (این دو مکانیسم در ادامه به طور کامل توضیح داده می شود). عامل دوم، در اثر تغییر در مورفولوژی و اندازه دانه های SiC به دلیل حضور ذرات TiC است. حضور ذرات TiC منجر به کشیده شدن دانه های SiC می شود. و دانه های کشیده باعث بهبود چقرمگی شکست نمونه های می شود. بر این اساس طبق نظریه فابر و اوانس [۱۱]، دانه های کشیده ی SiC می توانند از طریق رابطه ی زیر موجب بهبود در چقرمگی شکست نمونه ها شوند.

$$K_m = K_{eq} (1 + 0.28V) \frac{1}{d} \quad (3)$$

در این رابطه، K_m چقرمگی شکست زمینه SiC، K_{eq} چقرمگی شکست دانه های هم محور SiC، V کسر حجمی دانه های کشیده شده در زمینه ی SiC و $\frac{1}{d}$ نسبت طول به عرض دانه ها کشیده شده SiC است.

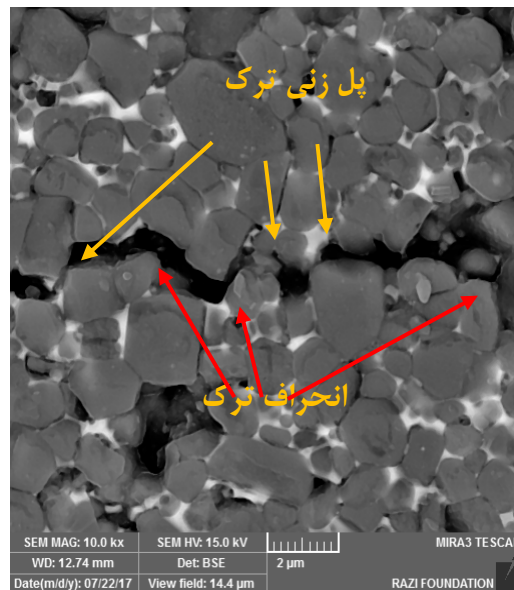
در شکل (۱۰) ریز دانه شدن و کشیده شدن دانه های SiC کاملاً قابل مشاهده است. این موضوع که دانه های کشیده نسبت به دانه های هم محور، مقاومت بیشتری در مقابل انتشار ترک دارند به اثبات رسیده است. اما با توجه به اینکه کسر حجمی دانه های کشیده شده ناچیز است تأثیر آن ها نیز در افزایش میزان چقرمگی شکست کامپوزیت بسیار کم است. پس در ادامه به بررسی تأثیر مکانیسم های چقرمگی مطرح شده در بالا بررسی می شود.

۲-۶- بررسی مکانیسم های چقرمگی در کامپوزیت SiC-TiO₂

برای بررسی مکانیسم های چقرمگی، با استفاده از فرورونده ویکرز در فشار ۳۰ بار روی سطح پولیش شده چند نمونه ترک ایجاد شد. و از ترک های ایجاد شده تصاویر FESEM تهیه گردید. ترک ایجاد شده در این نمونه ها به صورت عمده از مرزدانه ها که حاوی

فاز ثانویه YAG می‌باشند، عبور می‌کند. فاز YAG یک فاز اکسیدی ضعیف است پس ترک‌ها معمولاً در مسیری حرکت می‌کنند که این فاز حضور دارد. فاز مایع موجود منجر به تغییر ماهیت شکست از درون دانه‌ای به بین‌دانه‌ای می‌شود که این امر تا حدی به بهبودی چقرمگی شکست کمک می‌کند.

همانطور که در بخش قبلی نیز اشاره شد با توجه به کم بودن کسر حجمی دانه‌های کشیده شده افزایش چقرمگی شکست بر اساس این مکانیسم محدود است. اما تنش پسماند حرارتی اطراف دانه‌های TiC حاصل از عدم انطباق ضریب انبساط حرارتی بین TiC و SiC منجر به افزایش چقرمگی شکست نمونه‌ها می‌شود. یکی از مهم‌ترین اثرات افزودن ذرات تقویت‌کننده به فاز زمینه، ایجاد تنش پسماند است. تنش پسماند ناشی از عدم تطابق انبساط حرارتی بین ذرات تقویت‌کننده و زمینه در حین فرایند سرمایش در مرحله سینتر تولید می‌شود به این ترتیب که تنش فشاری پسماند اطراف ذرات TiC، تنش کششی در نوک ترک را کاهش می‌دهد و در نتیجه منجر به افزایش چقرمگی شکست نمونه‌ها می‌شود. به نظر می‌رسد مهم‌ترین مکانیسم توقف، انحراف و پل‌زنی ترک توسط ذرات فاز تقویت‌کننده TiC است که باعث افزایش چقرمگی شکست می‌شود.



شکل ۱۴- تصویر FESEM از سطح نمونه پولیش شده ۷/۵ درصد وزنی از نانو ذرات TiO_2 و حاوی ۱۰ درصد $Y_2O_3-Al_2O_3$.

مکانیسم انحراف ترک در تصاویر مشاهده می‌شود به علت حضور فاز اکسیدی در زمینه‌ی است. منحرف شدن ترک توسط این فاز سبب کاهش انرژی ترک و در نهایت افزایش چقرمگی شکست نمونه‌ها خواهد شد. البته انحراف ترک می‌تواند در اثر برخورد ترک با ذرات TiC نیز صورت بگیرد. حضور ذرات TiC و دانه‌های کشیده SiC نیز منجر به پل‌زنی ترک شده است. این مکانیسم نیز انرژی نوک ترک را کاهش داده و منجر به افزایش چقرمگی شکست می‌گردد.

۳- نتیجه‌گیری

تمامی نمونه‌ها در دمای $1900^\circ C$ و با کاهش دمای سینتر از ۹۰ دقیقه به ۶۰ دقیقه در اتمسفر آرگون با موفقیت سینتر شدند. استفاده از نانو ذرات TiO_2 در سینتر SiC، باعث تشکیل کامپوزیت SiC-TiC شد. به این ترتیب که نانو ذرات TiO_2 با کریستال SiC وارد واکنش شده و ذرات TiC به صورت درجا در فاز زمینه ایجاد شدند. حضور فازهای SiC، TiC، YAG و ۱:۱ توسط آنالیز فازی اشعه ایکس به اثبات رسید. اکسیدهای $Y_2O_3-Al_2O_3$ با SiO_2 موجود در سطح SiC وارد واکنش شده و فاز YAG را تشکیل دادند که این فاز منجر به بهبود دانسیته نمونه‌ها بعد از سینتر شد. ذرات تشکیل شده‌ی TiC در فاز زمینه توزیع یکنواختی داشتند. و مورفولوژی غالب ذرات SiC به صورت هم‌محور بود. البته تعداد محدودی از دانه‌های کشیده SiC نیز مشاهده شد.

حضور ذرات تقویت کننده TIC در فاز زمینه سختی را از $19/09$ GPa به $27/03$ GPa و مدول الاستیک نمونه‌ها را از $349/35$ GPa به $401/08$ GPa افزایش داد.

توزیع یکنواخت از ذرات تقویت کننده TIC در فاز زمینه SiC، از طریق ایجاد تنش‌های فشاری پسماند و مکانیسم‌های انحراف و پل زنی ترک منجر به بهبود چقرمگی شکست نمونه‌ها پس از سینتر از $4/7$ MPa.m^{1/2} به $6/25$ MPa.m^{1/2} شد. در نمونه‌ها بهترین خواص مربوط به نمونه حاوی $7/5$ درصد از نانو ذرات TiO₂ بود. در این نمونه دانسیته نسبی 97 درصد، چقرمگی شکست $6/25$ MPa.m^{1/2} مدول الاستیک $401/08$ GPa و میکرو سختی $27/03$ GPa حاصل گردید.

مراجع

- [1] Eom, J.-H., Kim, Y.-W., & Song, I.-H., Effect of additive composition on mechanical properties of pressureless sintered silicon carbide ceramics sintered with alumina, aluminum nitride and yttria. *Metals and Materials International*, 2015. 21(3): p. 525-530.
- [2] Huang, Z., Jia, D., Zhou, Y., & Liu, Y., A new sintering additive for silicon carbide ceramic. *Ceramics International*, 2003. 29(1): p. 13-17.
- [3] Zhou, Y., Tanaka, H., Otani, S., & Bando, Y., Low-Temperature Pressureless Sintering of alpha-SiC with Al₄C₃-B₄C-C Additions. *Journal of the American Ceramic Society*, 1999. 82(8): p. 1959-1964.
- [4] Mao-lin, X., De-li, L., Xiao-Bin, X., Bang-yi, L., Chang'an, C., & Wei-yuan, L., Densification of nano-SiC by ultra-high pressure effects of time, temperature and pressure. *Fusion Engineering and Design*, 2010. 85(7): p. 964-968.
- [5] Yang, H., Zhang, L., Guo, X., Zhu, X., & Fu, X., Pressureless sintering of silicon carbide ceramics containing zirconium diboride. *Ceramics International*, 2011. 37(6): p. 2031-2035.
- [6] Strecker, K. and M.-J. Hoffmann, Effect of AlN-content on the microstructure and fracture toughness of hot-pressed and heat-treated LPS-SiC ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 2005. 25(6): p. 801-807.
- [7] Borrero-López, O., Ortiz, A. L., Guiberteau, F., & Padture, N. P., Effect of liquid-phase content on the contact-mechanical properties of liquid-phase-sintered α -SiC. *Journal of the European Ceramic Society*, 2007. 27(6): p. 2521-2527.
- [8] Zawrah, M. and L. Shaw, Liquid-phase sintering of SiC in presence of CaO. *Ceramics international*, 2004. 30(5): p. 721-725.
- [9] Suzuki, K. and M. Sasaki, Microstructure and mechanical properties of liquid-phase-sintered SiC with AlN and Y₂O₃ additions. *Ceramics International*, 2005. 31(5): p. 749-755.
- [10] Gomez, E., Echeberria, J., Iturriza, I., & Castro, F., Liquid phase sintering of SiC with additions of Y₂O₃, Al₂O₃ and SiO₂. *Journal of the European Ceramic Society*, 2004. 24(9): p. 2895-2903.
- [11] Liang, H., Yao, X., Zhang, H., Liu, X., & Huang, Z., In situ toughening of pressureless liquid phase sintered α -SiC by using TiO₂. *Ceramics International*, 2014. 40(7): p. 10699-10704.
- [12] Bucevac, D., Matovic, B., Boskovic, S., Zec, S., & Krstic, V., Pressureless sintering of internally synthesized SiC-TiB₂ composites with improved fracture strength. *Journal of Alloys and Compounds*, 2011. 509(3): p. 990-996.
- [13] Tani, T., Processing, microstructure and properties of in-situ reinforced SiC matrix composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 1999. 30(4): p. 419-423.
- [14] Lee, S.-H., Guo, S., Tanaka, H., Kurashima, K., Nishimura, T., & Kagawa, Y., Thermal decomposition, densification and mechanical properties of AlN-SiC (-TiB₂) systems with and without B₄C and C additives. *Journal of the European Ceramic Society*, 2008. 28(8): p. 1715-1722.
- [15] Ahmoye, D. and V.D. Krstic, Reaction sintering of SiC composites with in situ converted TiO₂ to TiC. *Journal of materials science*, 2015. 50(7): p. 2806-2812.
- [16] Marchi, J., J.C. Bressiani, and A.H.A. Bressiani. Sintering of silicon carbide ceramics with additives based on the (Y₂O₃-Al₂O₃-SiO₂) system. in *Advances in Science and Technology*. 2006. Trans Tech Publ.
- [17] Ihle, J., M. Herrmann, and J. Adler, Phase formation in porous liquid phase sintered silicon carbide: Part I: Interaction between Al₂O₃ and SiC. *Journal of the European Ceramic Society*, 2005. 25(7): p. 987-995.
- [18] H.Hofmann, J.D.a., nonmaterial Swiss Federal Institute of Technology. 1996-2003.
- [19] Liang, H., Yao, X., Huang, Z., Zeng, Y., & Su, B., Thermal shock behavior of pressureless liquid phase sintered SiC ceramics. *Ceramics International*, 2016. 42(7): p. 8677-8683.
- [20] Kim, Y.-W., S.-G. Lee, and Y.-I. Lee, Pressureless sintering of SiC-TiC composites with improved fracture toughness. *Journal of materials science*, 2000. 35(22): p. 5569-5574.



مهندس پوریا متولیان،
نویسنده‌ی اول مقاله، دانشکده
مهندسی مواد و متالورژی،
دانشگاه سمنان

بررسی روش‌های سنتز و خواص نانوذرات $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO)

پوریا متولیان^{۱*}، بهزاد آبشت^۲

^۱ دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
^۲ پژوهشکده رانشگرهای فضایی، پژوهشگاه فضایی ایران، تبریز، ایران

چکیده: باتری‌های یون لیتیوم (LIB) از دستاوردهای موفق الکتروشمی مواد نوین با مزایایی همچون نداشتن اثر حافظه، ولتاژ سلولی بالا و چگالی انرژی و توان بالاست. باتری‌های یون لیتیوم کاربردهای وسیعی به‌عنوان منبع پودری برای گوشی‌های الکترونیک و تجهیزات ارتباطی دوربرد دارند. با این حال، نرخ توانایی کم کاربردهای آن را در وسایل الکترونیک، رسانه‌های الکترونیکی هیبریدی و سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک محدود می‌کند. در باتری‌های یون لیتیوم قابل شارژ، در حین شارژ/دشارژ، یون‌های لیتیوم میان آند و کاتد به حرکت درمی‌آیند. اما با کوچک‌تر شدن باتری‌ها و نیاز به افزایش سرعت آن‌ها، باید اصلاحاتی در ساختار این باتری‌ها صورت پذیرد. نانو ساختارهای تیتانات لیتیوم ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO)) به دلیل توانایی انجام واکنش‌های چرخه‌ای و پایداری بالا از گزینه‌های مناسب برای ساخت آند در این باتری‌هاست. از این رو اخیراً پژوهش‌های وسیعی در حوزه روش‌های تولید و سنتز این نانوذرات انجام شده است. در پژوهش حاضر نیز به بررسی آخرین روش‌های سنتز و ویژگی‌های نانوذرات $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) برای تولید و شناسایی مطلوب‌تر این نوع از مواد مهم و پرکاربرد در صنعت پرداخته‌ایم.
کلمات کلیدی: نانوذرات، سنتز، $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$.

۱- مقدمه

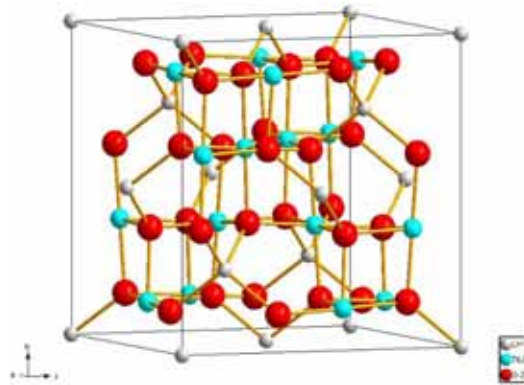
در پژوهش‌های اخیر نانو ساختارهای تیتانات لیتیوم، $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO)، جایگزین پایدار گرافیت در آند باتری‌های یون لیتیوم^۱ با ویژگی‌های ایمنی بالایی معرفی شده‌اند. یون‌های Li به داخل شبکه LTO نفوذ و جاهای خالی اکتاهدرال (۸ وجهی) را پر می‌کنند. این پر و خالی شدن به دلیل تغییرات حجمی، تحرکی به ماده میزبان تحمیل نمی‌کند، این مزیت در آند بسیار قابل توجه می‌باشد. همچنین پتانسیل الکتروشیمیایی نسبتاً بالای LTO برای جایدهی Li (حدود ۱/۵۵V) نسبت به Li^+/Li آن را نسبت به الکترولیت آلی خنثی کرده است. LTO در مقایسه با گرافیت، اساساً آند ایمن‌تری است که دارای کمترین افت ظرفیت غیرقابل برگشت در دوره مصرف است. علیرغم این مزایا، LTO به دلیل ساختار بلوری خاص و نوار ممنوعه الکترونیکی بزرگ (۲-۳eV) محدودیت‌هایی نیز دارد، از جمله این که در قیاس با گرافیت ظرفیت تئوری کمتر (۱۷۵mAh/g) نسبت به 372mAh/g و یون لیتیوم و هدایت الکتریکی پایین‌تری دارد. این مقادیر به ترتیب برای لیتیوم ($3 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$ تا 10^{-13} S/cm در 27°C) و برای گرافیت (10^{-4} S/cm و 10^{-6} S/cm تا 10^{-4} S/cm در 27°C) است. با این حال در خودروهای الکتریکی، نانو ساختار LTO توجهات فراوانی به خود معطوف نموده است. به منظور افزایش خواص الکتروشیمیایی LTO فناوری نانو در سه بخش استفاده شده است: ۱- استفاده از نانو ساختارهای LTO ۲- پوشش سطح ذرات LTO ۳- اختلاط نانو ساختارهای LTO در ماتریسی از مواد رسانا. استفاده از نانو ساختارهای LTO آند مسیر نفوذ یون لیتیوم در ذرات را بسیار کوتاه می‌کند و همچنین مساحت فعال الکتروود در مجاورت الکترولیت را افزایش می‌دهد. هر دو مورد جهت رسیدن به جریان کاری بالا مفید می‌باشند [۱]. به این ترتیب، چالش برای ایجاد یک روش مؤثر و منظم برای سنتز نانو ساختارهای

¹ Lithium ion battery

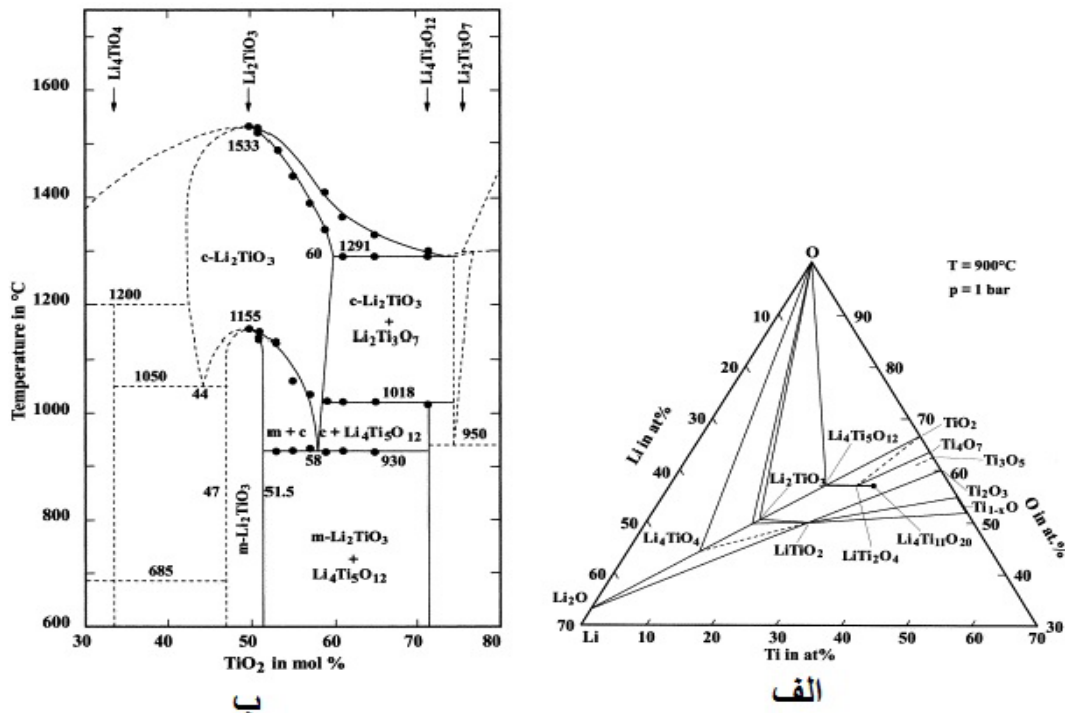
$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ با کریستالین بالا از اهمیت زیادی برخوردار است. در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی برای طراحی نانوساختارهای کارا (نانوسیم‌ها، نانوجل‌ها) با ایجاد روش‌های جدید سنتز یا بهینه‌سازی روش‌های موجود (واکنش‌های حالت جامد، سنتز سولووترمال، سنتز نمک مذاب) صورت پذیرفته است. این رویکردهای سنتز معمولاً با دوپه کردن یون‌های چند ظرفیتی برای افزایش رسانایی الکترونیکی LTO همراه شده‌اند. در ادامه به معرفی اسپینل LTO می‌پردازیم.

۲- معرفی اسپینل $(\text{LTO}) \text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$

$(\text{LTO}) \text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ مطابق شکل ۱ یک ساختار اسپینلی با گروه فضایی $\text{Fd}\bar{3}\text{m}$ دارد. در LTO تمام مکان‌های تتراهدرال $16d$ توسط Li و Ti به نسبت اتمی ۱:۵ در آرایش مکعبی اکسیژن به اشتراک گذاشته است. LTO را می‌توان به صورت $[\text{Li}_3]_{8a}[\text{Ti}_5\text{Li}]_{16d}[\text{O}_{12}]_{32e}$ مشخص نمود که نشان می‌دهد یون‌های Li هر دو مکان تتراهدرال (اشغال مکان‌های $8a$) و اکتاهدرال (اشغال مکان‌های $16d$) اکسیژن را در بر گرفته‌اند. یکی دیگر از مشاهدات جالب این است که چرخش Li با تغییرات بسیار کمی در پارامتر شبکه‌ای مکعب انجام می‌شود، به عبارتی پارامتر شبکه برای LTO، $a=4/3595\text{\AA}$ می‌باشد. در قیاس با حالت بالک LTO، نانوذره LTO ظرفیت برگشتی را بهبود داده است [۲].



شکل ۱- ساختار بلوری $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ {Li (خاکستری)، Ti/Li (سبز)، O (قرمز)} [۲]



شکل ۲- (الف) دیاگرام سه‌تایی Li-Ti-O (ب) نمودار فازی سیستم $\text{Li}_2\text{O}-\text{TiO}_2$ [۳]

کلیکامپ^۱ و همکاران [۳] موفق به طراحی دیاگرام فازی Li_2O و TiO_2 در دمای 1600°C شدند. این دیاگرام‌ها در شکل ۲ آورده شده‌اند. سیستم شبه دوتایی $\text{Li}_2\text{O}-\text{TiO}_2$ شامل ۴ ترکیب اکسیدی سه‌تایی Li_4TiO_4 ، Li_2TiO_3 ، $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ و فاز دمابالای $\text{Li}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ می‌باشد. فاز $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ در زیر دمای 930°C به‌عنوان فاز ثانویه تشکیل می‌شود. مشخص شد که اسپینل $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ بین فازهای TiO_2 و Li_2TiO_3 قرار گرفته و تا دمای 1018°C پایدار است. این دو فاز ناخالصی‌های بارزی هستند که پس از آنیل اولیه پیش‌ماده‌ها به شکل اسپینل یافت می‌شوند. اختلاط و آنیل مرحله بعد این ناخالصی‌ها را کاهش می‌دهد.

۳- روش‌های سنتز $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO)

روش‌های گوناگونی برای سنتز تیتانات لیتیوم، شامل روش حالت جامد^۲ [۶]، روش هیدروترمال^۳ [۱۸]، اسپری پیرولیز^۴ [۲۰]، فرآیند امولسیون^۵ [۳۴]، زینتر دومرحله‌ای^۶ [۴]، روش سونوشیمیایی^۷ [۳۵]، فرآیند اسپری داربیگ^۸ [۳۶] و... می‌باشد.

۳-۱- زینتر دومرحله‌ای

سنتز نانوذرات $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) با کمک $\text{CH}_3\text{COOLi}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ به‌عنوان منبع Li و TiO_2 نیز به‌عنوان منبع Ti انجام شد. در مرحله اول سنتز $\text{CH}_3\text{COOLi}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ و TiO_2 با نسبت $\text{Li}:\text{Ti} = 4:5$ توسط بالمیل مخلوط شدند. پودر مخلوط شده در دماهای 450°C و 550°C با $10^\circ\text{C}/\text{min}$ به مدت ۱ ساعت جهت تشکیل پیش‌ماده زینتر اولیه شدند. به‌علاوه، پیش‌ماده توسط بالمیل برای ۱ ساعت مخلوط شد و در دماهای 700°C و 750°C با $10^\circ\text{C}/\text{min}$ به مدت ۱ ساعت جهت تشکیل نانوذرات LTO تحت زینتر مرحله دوم قرار گرفت [۴].

۳-۲- روش حالت جامد

لی^۹ و همکاران [۵] سیستم واکنشی میکروویو مورد استفاده را برای تهیه نانوذرات $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) ارائه دادند. مواد اولیه از Li_2CO_3 و TiO_2 کاملاً با کمک هاون عقیق مطابق با نسبت‌های استوکیومتری مشخص باهم مخلوط شدند. از آنجایی که Li_2CO_3 و TiO_2 به مقدار کمی از میکروویو را جذب می‌کنند در دمای نسبتاً پایین، سیستم بوتله دوگانه برای رسیدن به دمای بالای مورد نیاز در واکنش حالت جامد به کار گرفته شد درحالی که زغال سنگ به‌عنوان حرارت دهنده میانی بین دو بوتله چینی مورد استفاده قرار گرفت. سیستم واکنشی میکروویو در مرکز صفحه چرخان یک آون میکروویو با تابش $500-700\text{W}$ برای $15-10$ دقیقه قرار گرفت.

پودرهای $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ با واکنش حالت جامد نمک‌های Li و Ti در $1000-700^\circ\text{C}$ سنتز شده‌اند [۶]. به‌طور کلی، TiO_2 به‌عنوان منبع Ti و Li_2CO_3 یا LiOH برای نمک تیتانیوم استفاده شده است. گاهی اوقات، حلال (مانند اتانول) به‌عنوان پاشنده برای ایجاد محیطی بهتر برای همگی ترکیب مواد اولیه استفاده می‌گردد. برای مثال، مقدار استوکیومتری از TiO_2 و $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ در ابتدا برای همگنی بیشتر در یکدیگر پخش و هم زده شده است. سپس، بعد از حذف حلال، در دمای 800°C برای مدت ۲۴ ساعت در اتمسفر اکسیژن حرارت داده شدند [۷]. کاتاکا^{۱۰} و همکاران [۸] Li_2CO_3 و TiO_2 را به‌عنوان مواد شروع‌کننده به کار گرفتند، که در اتمسفر هوا در دمای 600°C برای ۱۲ ساعت حرارت داده شدند و پس از آن در دمای 850°C به مدت ۲۴ ساعت تحت آنیل قرار گرفتند. هونگ^{۱۱} و همکاران [۹] نیز Li_2CO_3 و TiO_2 را با آب دیونیزه شده پس از افزودن ۲٪ وزنی نمک آمونیوم به‌عنوان پاشنده باهم مخلوط کردند. پودرهای مخلوطی تحت

¹ Kleykamp

² Solidstate method

³ Hydrothermal

⁴ Spray pyrolysis

⁵ Emulsion process

⁶ Two steps sintering

⁷ Sonochemical method

⁸ Spray drying process

⁹ Li

¹⁰ Kataoka

¹¹ Hong

آسیاکاری انرژی بالا برای ۳ ساعت با سرعت چرخش ۳۰۰۰rpm با گلوله‌های ۴mm از ZrO₂ قرار گرفتند. پودر خشک شده در نهایت در دماهای ۸۰۰ و ۹۰۰°C برای مدت ۳ ساعت در اتمسفر هوا جهت تولید نانوذرات LTO کلسینه شدند.

روش نمک مذاب یک روش حالت جامد اصلاح شده توسط نمک‌های احیاگر همانند LiCl، NaCl و KCl در سیستم روش حالت جامد مرسوم است. نسبت مولی از مواد اولیه LiOH.H₂O:TiO₂:LiCl-KCl به صورت ۴:۵:۱۰ ثبت شدند. پودر مخلوط شده در دمای ۸۰۰°C برای مدت ۸ ساعت کلسینه و پودرهای حاصله کاملاً با آب مقطر برای حذف نمک‌های مذاب رسوبی شسته شدند. به طوری که برای نمک مذاب تکفاز همانند LiCl یا KCl، نقطه ذوب در محدوده ۶۱۲-۷۸۹°C می‌باشد. درحالی که کامپوزیت LiCl-KCl توانایی کاهش نقطه ذوب را دارد پس، محیط واکنش مایع به آسانی بهبود می‌یابد که می‌تواند به نفوذ مواد اولیه و بهبود تشکیل کریستال منجر شود [۱۰].

۳-۳- فرآیند سل-ژل

فرآیند سل-ژل روشی مطلوب برای تولید نانوذرات LTO می‌باشد. این روش مزایایی همچون موفولوژی و همگنی مناسب و معایبی مثل دشوار بودن کنترل شرایط سنتز در مقدار بالای حلال‌ها و مواد آلی (ممانعت از استفاده در ذخیره انرژی) و نیز دمای کلسیناسیون بالا، ۸۰۰-۹۰۰°C، به دنبال آن رشد ذرات را دارد [۱۱ و ۱۲].

برای ایجاد به نانوذرات LTO با کارایی الکتریکی و ذخیره انرژی خوب، پژوهش‌های زیادی جهت بازدهی بهتر این فرآیند انجام گرفته است. طبق گزارشی یک روش جدید سل-ژل، که ظرفیت دشارژ مناسب را نشان می‌دهد [۱۳]. طبق گزارش آن‌ها، در این روش زمانی که نسبت مولی از سیتریک اسید به کل یون‌های فلزی ۱/۲ می‌باشد، LTO ظرفیت دشارژ اولیه ۱۷۷mAh/g و ۳۳/۵mA/g و ثانویه ۱۶۲mAh/g را نشان می‌دهد [۱۴]. اکسالیک اسید^۱ کمک به پیش‌روی فرآیند سل-ژل برای سنتز نانوذرات LTO می‌کند، که کم شدن مقدار ظرفیت دشارژ تحت شرایط سنتزی ایده‌آل در دمای ۷۰۰°C برای مدت ۲۴ ساعت را نشان داد درحالی که نسبت اکسالیک اسید به تیتانیوم یک می‌باشد. کیم^۲ و همکاران [۱۵] سنتز LTO را با روش سل-ژلی با آسیاکاری انرژی بالای (HEBM^۳) پیش‌ماده‌های مدنظر گزارش کرده‌اند. آسیاکاری LTO ظرفیت ۱۸۲mAh/g و چرخه‌پذیری مطلوب را ارائه می‌دهد.

الیاس^۴ و همکاران [۱۶] از لیتیوم باتوکسید^۵ و تیتانیوم ایزوپروتوکسید^۶ به عنوان مواد شروع کننده استفاده و در اتانول باهم مخلوط کردند، باقی مانده (ته نشین) حاصله در نهایت در محدوده دمایی ۷۰۰-۱۰۰۰°C برای مدت ۴-۵ ساعت برای رسیدن به نانوذرات LTO زینتر شدند. خومان^۷ و همکاران [۱۷] از سورفاکتانت کاتیونی هگزادیدیل تریمتیل آمونیوم برومید (CTAB^۸) برای کنترل رشد بلور LTO استفاده کردند. در یک فرآیند معمولی، CTAB در ۱۰۰ml اتانول تحت همزن مغناطیسی حل می‌شود. ۴ گرم از لیتیوم استات دی‌هیدرات^۹ در محلول بالا با همزن مغناطیسی مداوم حل شد. تیتانیوم (IV) ایزوپروپوکساید به محلول مدنظر به صورت قطره‌ای با حفظ نسبت مولی Li:Ti=۱:۱/۲۵ افزوده شد. دمای محلول تا ۹۰°C افزایش یافت و به طور پیوسته برای تشکیل ژل هم زده شد. ژل حاصله در دمای ۱۰۰°C به مدت ۲۴ ساعت در اتمسفر هوا قرار داده و پیش‌ماده در دمای ۴۰۰°C برای ۴ ساعت تجزیه شد و به دنبال آن در دمای ۸۰۰°C برای ۱۲ ساعت تحت کلسیناسیون جهت دستیابی به نانوذرات LTO قرار گرفت.

¹ Oxalic acid

² Kim

³ High energy ball milling

⁴ Alias

⁵ Lithium tert-butoxide

⁶ Titanium isopropoxide

⁷ Khomane

⁸ Hexadecyl trimethyl ammonium bromide

⁹ Lithium acetate dihydrate

۳-۴- روش هیدروترومال

چن^۱ و همکاران [۱۸] روش هیدروترومال را برای تهیه نانوذرات LTO با استفاده از تترا ایزوپروپوکساید تیتانیوم و LiOH به عنوان مواد شروع کننده واکنش گزارش کرده اند. از آب اکسیژنه نیز برای کنترل مورفولوژی LTO استفاده شد. معمولاً ۱ml از آب اکسیژنه ۳۰٪ در ۲۰ml از محلول ۰/۴M LiOH پخش، به دنبال آن ۲mmol تترا ایزوپروپوکساید تیتانیوم نیز افزوده می شود. محلول به اتوکلاو منتقل و در دمای ۱۳۰°C به مدت ۱۲ ساعت قرار داده شد. رسوب سفیدرنگ حاصله با سانتریفیوژ احیا و بهبود یافت، با آب دیونیزه کاملاً شسته و پس از در آون (خشک کن) ۸۰°C خشک شد. در نهایت، نمونه های تهیه شده در دمای ۵۵۰°C به مدت ۶ ساعت در اتمسفر هوا به منظور ایجاد نانوساختارهای LTO کلسینه شدند.

لای^۲ و همکاران [۱۹] از روش هیدروترومال به منظور سنتز نانوذرات LTO بهره برده اند. آن ها از $TiOSO_4$ و $LiOH \cdot H_2O$ به عنوان مواد اولیه آزمایش و آب نیز به عنوان حلال با مقدار مشخصی از اوره برای انجام واکنش استفاده کردند. پس از اختلاط کامل مواد شروع کننده واکنش در آب حاوی اوره، محلول حاصل به اتوکلاو منتقل و در دمای ۱۹۰°C برای ۲۴ ساعت حرارت داده شد. رسوب مدنظر جمع آوری آوری و سپس به منظور تشکیل نانوذرات LTO در دمای ۵۵۰°C برای ۲ ساعت در اتمسفر آرگون کلسینه شدند.

۳-۵- فرآیند اسپری پیرولیز

این روش برای تولید مستقیم پودرهای سرامیکی از محلول ها مورد توجه قرار گرفته است. جو^۳ و همکاران [۲۰] برای تهیه نانوذرات LTO، محلول پیش ماده با انحلال مقدار استوکیومتری از نیترات لیتیوم و تترا ایزوپروپوکساید تیتانیوم در آب مقطر آماده شد. پودرهای تهیه شده با اسپری پیرولیز در دمای ۵۵۰°C به مدت ۱۲ ساعت در کوره با اتمسفر هوا پیش گرم شدند. در مرحله پایانی نیز پودر مدنظر برای ایجاد ساختار نانو در کوره ۷۵۰°C به مدت ۵ ساعت قرار داده شد.

۳-۶- روش احتراق محلولی

پراکاش^۴ و همکاران [۲۱] سنتز احتراق محلولی نانوپودرهای LTO را با استفاده از نیترات تیتانیل $(TiO(NO_3)_2)$ و $LiNO_3$ به عنوان پیش ماده های اکسیدی و گلیسین به عنوان سوخت را گزارش کرده اند. یک مخلوط که حاوی مقدار استوکیومتری نیترات تیتانیل $(0/0382mol)$ ، ۲ گرم $LiNO_3$ $(0/0256mol)$ و ۴/۱۶ گرم از گلیسین $(0/0571mol)$ در ۱۱۰ml آلومینای مایع می باشد را در کوره با دمای پیش گرم ۸۵۰°C قرار داده شد. این واکنش در چند ثانیه انجام شد و نانوپودرهای LTO حاصل گردید.

پراکاش و همکاران همچنین سنتز نانوذرات LTO تکفاز مکعبی را توسط روش احتراق محلولی گزارش کرده اند. نانوذرات LTO سنتز شده برفکی و با تخلخل بالا و ناحیه سطحی $12m^2.g^{-2}$ بودند. تصاویر TEM ذرات اولیه را به صورت کریستالی آگلومره شده با اندازه ذرات مختلف بین ۵۰-۲۰۰nm را نشان دادند. LTO تهیه شده توسط روش احتراقی در مواردی همانند حافظه ظرفیتی در مقایسه با روش حالت جامد برتر است، که این نیز می تواند مربوط به کریستالیت بالا و اندازه ذرات نانوی LTO باشد [۲۱].

راجا^۵ و همکاران [۲۲] فرآیند احتراقی آبی را با کمک آنالین آمینواسید^۶ به عنوان سوخت برای سنتز نانوذرات $Li_4Ti_5O_{12}$ گزارش کردند، که یک مورفولوژی یکنواخت با متوسط اندازه ذرات در محدوده ۸۰-۴۰nm و باند گپ نوری در حدود $1/8eV$ را نشان داد. یوان و همکاران [۲۳] فرآیند احتراقی گلیسین-نیترات را برای آماده سازی اسپینل $Li_4Ti_5O_{12}$ ارائه کردند. LTO کلسینه شده در دمای ۷۰۰°C بهترین عملکرد الکتروشیمیایی را نشان داد، که به ظرفیت $125mAh/g$ با کارایی چرخه ای پایدار حتی در ۴۰°C رسید. سینتیک واکنش سطحی LTO به طور قابل توجهی با افزایش رسانای الکترونیکی آن توسط این روش بهبود یافت. در جدول ۱ خواصی مثل اندازه ذرات LTO با روش های سنتزی مختلف بیان شده است.

¹ Chen

² Lai

³ Ju

⁴ Prakash

⁵ Raja

⁶ Amino acid alanine

جدول ۱- خواص ظاهری نانوذرات $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ سنتز شده با روش‌های مختلف

روش‌ها	اندازه ذرات (nm)	شکل ظاهری	مرجع
حالت جامد	۷۰	کروی	[۲۶]
سل-ژل	۹۰-۱۳۶	نانوذره	[۲۷]
ریفلاکس	۵-۴۰۰	کروی	[۲۵]
عملیات حرارتی	۶-۱۱	نانوتیوب	[۲۸]
هیدروترمال	۲۰	کروی	[۲۹]
الکترواسپینینگ	۲۳۰-۲۷۰	نانوفیبر	[۳۰]
احتراقی	۴۰-۸۰	ذرات کروی	[۲۲]
اسپری پیرولیز	۹۸۰	کروی	[۳۱]

۳-۷- سایر روش‌های سنتز LTO

لی و همکاران [۲۴] از روش سونوشیمیایی برای سنتز ذرات LTO بهره بردند. آن‌ها از پیش‌ماده‌های LiOH و TiO_2 مخلوط شده در الکل برای انجام واکنش سونوشیمیایی به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق استفاده کردند. ذرات LiOH پوشش داده‌شده بر روی نانوذرات TiO_2 را در دمای 500°C برای ۱ ساعت جهت تشکیل نانوذرات LTO کلسینه کردند. کیم و همکاران [۲۵] روش ریفلاکس را برای تهیه نانوذرات LTO (۶-۸nm) را گزارش کرده‌اند، که از محلول اتیلن گلیکول از تترا ایزوپروپوکساید تیتانیوم و Li_2O_2 با ریفلاکس در دمای 197°C برای ۱۲ ساعت تهیه شده است. ذرات حاصله صاف شده و در دمای 100°C برای ۱۲ ساعت خشک شدند، به‌عنوان یک مرحله بعد از واکنش، نمونه‌های پودری خشک‌شده حرارت بیشتری دیدند. حرارت دهی در 500°C برای ۳ ساعت، نانوذرات حاصله LTO ظرفیت اولیه 320mAh/g با دانسیته $0.05\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ را نشان دادند.

۴- خواص فیزیکی و شیمیایی نانوذرات LTO

اسپینل $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ مزایایی همانند مکمل عالی یون لیتیوم و برگشت‌پذیری استخراج، تغییر حجمی و ساختاری ناچیز در طی فرآیند شارژ و دشارژ دارد که این نوع اسپینل را در زمره مواد بدون کرنش طبقه‌بندی می‌کنند. فیلم رابط الکترولیت جامد (SEI) اغلب در پتانسیل زیر 0.8V در برابر Li^+/Li تشکیل می‌شود، پتانسیل LTO بسیار بالاتر از پتانسیل احیایی بیشتر الکترولیت‌های آلی می‌باشد، که لیتیوم فعال را مصرف می‌کند و منجر به کاهش ظرفیت ویژه می‌شود. همچنین $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ دارای عملکرد پایدار حرارتی نسبت به گرافیت طبیعی، به‌ویژه در حدود 230°C است. یکی از جنبه‌هایی که باید اشاره کرد، LTO رسانایی الکتریکی کمی دارد، که منجر به ظرفیت ویژه پایین و قابلیت ضعیف در نرخ بالا می‌شود. سیکل پذیری و سرعت چرخش بالا، پایداری حرارتی، ارزان بودن، ایمنی و روش تهیه ساده LTO آن را به ماده‌ای ایده‌آل به‌عنوان آند برای باتری‌های یون لیتیوم تبدیل نموده است [۳۲]. جزییات بیشتری در مورد خواص و محلول برای بهبود رسانایی الکتریکی LTO در جدول ۲ آورده شده است. به دلیل وجود مکان‌های خالی اکتاهدرال در شبکه LTO، یک رسانای یون لیتیوم خوب می‌باشد. به‌کارگیری به‌عنوان آند، اسپینل LTO می‌تواند زوجی را با کاتدهای ولتاژ بالا همانند LiCoO_2 ، LiNiO_2 و LiMn_2O_4 برای تولید باتری یون لیتیوم تشکیل دهد. در مقایسه با همتایان خود به‌عنوان آند، اسپینل LTO ارزان‌تر و ساده‌تر از سایر موادی است که بر پایه آلیاژ ساخته شده‌اند و خواص الکتروشیمیایی بهتر و ایمنی بالاتر نسبت به آند کربن‌دار در باتری‌های یون لیتیوم دارد [۳۳].

جدول ۲- مزایا و معایب منتج شده از نانوذرات $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$

مزایا	معایب	خواص دیگر
• ارزان، ایمن و آماده‌سازی آسان، ظرفیت‌پذیری بالا	• رسانایی الکترونیکی پایین	• یک آرایش مکعبی بسته از اکسیژن، ضریب نفوذ یون Li در حدود $10^{-6} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ را داراست
• موبیلیتی یون لیتیوم خوب، دوستار محیط	• دستیابی دشوار به پوشش سطحی کامل و اختلاط مطلوب	• ظرفیت ویژه تئوری 175 mAh/g ، ظرفیت ویژه ذره‌ای $160-150 \text{ mAh/g}$
• تنوع ساختاری جزئی، پارامتر شبکه بین 0.1% و 0.3%	• تحمل ظرفیت برگشت‌پذیری نسبتاً کم در مقایسه با دیگر مواد آندی مثل گرافیت	• دانسیته انرژی 270 Whkg^{-1} در یک سلول فلزی Li
• مکمل یون لیتیوم خوب و برگشت‌پذیری استخراج، پایداری ساختاری مطلوب		• رسانایی الکتریکی زیر $10^{-13} \text{ Scm}^{-1}$ در دمای اتاق
• عملکرد دمابالای پایدار حتی در 60°C و میزان دشارژ بالا در 10°C		• بازده کولمبیک بالا (بیشتر از 95% در 1°C)
• تجزیه الکترولیت کم، مواد اولیه ارزان		

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نیاز اساسی و اهمیت کاربرد نانوذرات در بیشتر صنایع، مطالعات و پژوهش‌های وسیعی برای بهبود عملکرد، بازدهی و ساخت آن‌ها صورت گرفته است. نتایج حاصل شده در این رابطه حاکی از آن است که نانو ذرات سنتزی به دلیل ویژگی‌هایی همچون راحت و سریع بودن پروسه ساخت، هزینه پایین، پایداری مطلوب در شرایط مدنظر و... به‌عنوان یکی از پرکاربردترین انواع روش‌های تولید نانوذرات به شمار می‌آید. گرافیت به‌طور گسترده در باتری یون لیتیوم به‌عنوان مواد آند استفاده می‌شود. با این حال، به دلیل مسائل زیست‌محیطی و ایمنی، $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) بهترین گزینه برای جانشینی مواد گرافیتی به خاطر پایداری و ثبات شیمیایی است. روش‌های مختلف سنتز نانوذرات برای آماده‌سازی LTO وجود دارد اما روش سل-ژل تکنیکی تطبیق‌پذیر و بهتری برای رسیدن به ذراتی ریزتر و همگنی بیشتر می‌باشد. در نتیجه روش سنتزی برای تولید نانوذرات LTO موردنیاز است که ساختاری تکفاز، توزیع اندازه ذرات ریز و کریستالیت به بالا به‌منظور افزایش عملکرد در باتری‌ها را ارائه نماید. دوپه کردن با کاتیون‌ها و آنیون‌های مناسب می‌تواند رسانایی مواد را بهبود بخشد و به‌موجب آن قابلیت و توانایی نانوذرات LTO ارتقا می‌یابد. سلول‌های یون لیتیوم با آند LTO ویژگی‌های مطلوبی برای کاربردهایی در فناوری وسایل نقلیه موتوری دارد که به‌طور گسترده در حال کشف هستند.

مراجع

- [1] Lu, Jun, Nature Nanotechnology, 12, 1031-1038, (2016).
- [2] Yi, T. F., Yang, S. Y., & Xie, Y. Journal of Materials Chemistry A, 3(11), 5750-5777, (2015).
- [3] Kleykamp, H, Fusion engineering and design, 61, 361-366, (2002).
- [4] Ohtake, T, Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 3(02), 5, (2015).
- [5] Li, J., Jin, Y. L., Zhang, X. G., & Yang, H, Solid State Ionics, 178(29-30), 1590-1594, (2007).
- [6] Yao, X. L., Xie, S., Chen, C. H., Wang, Q. S., Sun, J. H., Li, Y. L., & Lu, S. X. Electrochimica acta, 50(20), 4076-4081, (2005).
- [7] Panero, S., Reale, P., Ronci, F., Albertini, V. R., & Scrosati, B. Ionics, 6(5-6), 461-465, (2000).
- [8] Kataoka, K., Takahashi, Y., Kijima, N., Hayakawa, H., Akimoto, J., & Ohshima, K. I. A, Solid State Ionics, 180(6-8), 631-635, (2009).
- [9] Hong, C. H., Noviyanto, A., Ryu, J. H., Kim, J., & Yoon, D. H. Ceramics International, 38(1), 301-310, (2012).
- [10] Bai, Y., Wang, F., Wu, F., Wu, C., & Bao, L. Y. Electrochimica acta, 54(2), 322-327, (2008).
- [11] J. R. Li, Z. L. Tang, Laubisrutistr.24, Stafa-Zuerich, CH-8712, (2007).
- [12] Tang, Y. F., Yang, L., Qiu, Z., & Huang, J. S. Electrochemistry Communications, 10(10), 1513-1516, (2008).

- [13] Hao, Y. J., Lai, Q. Y., Liu, D. Q., Xu, Z. U., & Ji, X. Y. *Materials Chemistry and Physics*, 94(2-3), 382-387, (2005).
- [14] Hao, Y. J., Lai, Q. Y., Lu, J. Z., Wang, H. L., Chen, Y. D., & Ji, X. Y. *Journal of Power Sources*, 158(2), 1358-1364, (2006).
- [15] H.-J. Kim, M.-H. Oh, W.-K. Son, presented at Properties and applications of Dielectric Materials, 8th International Conference on, (2006).
- [16] Alias, N. A., Kufian, M. Z., Teo, L. P., Majid, S. R., & Arof, A. K. *Journal of Alloys and Compounds*, 486(1-2), 645-648, (2009).
- [17] Khomane, R. B., Prakash, A. S., Ramesha, K., & Sathiya, M. *Materials Research Bulletin*, 46(7), 1139-1142, (2011).
- [18] Yuan, T., Cai, R., Wang, K., Ran, R., Liu, S., & Shao, Z. *Ceramics International*, 35(5), 1757-1768, (2009).
- [19] Lai, C., Dou, Y. Y., Li, X., & Gao, X. P. *Journal of Power Sources*, 195(11), 3676-3679, (2010).
- [20] Ju, S. H., & Kang, Y. C. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 70(1), 40-44, (2009).
- [21] Prakash, A. S., Manikandan, P., Ramesha, K., Sathiya, M., Tarascon, J. M., & Shukla, A. K. *Chemistry of Materials*, 22(9), 2857-2863, (2010).
- [22] Raja, M. W., Mahanty, S., Kundu, M., & Basu, R. N. *Journal of Alloys and Compounds*, 468(1-2), 258-262, (2009).
- [23] Chen, J., Yang, L., Fang, S., & Tang, Y. *Electrochimica Acta*, 55(22), 6596-6600, (2010).
- [24] Lee, S. S., Byun, K. T., Park, J. P., Kim, S. K., Kwak, H. Y., & Shim, I. W. *Dalton Transactions*, (37), 4182-4184, (2007).
- [25] Kim, D. H., Ahn, Y. S., & Kim, J. *Electrochemistry communications*, 7(12), 1340-1344, (2005).
- [26] Hsieh, C. T., & Lin, J. Y. *Journal of Alloys and Compounds*, 506(1), 231-236, (2010).
- [27] Shen, C. M., Zhang, X. G., Zhou, Y. K., & Li, H. L. *Materials chemistry and physics*, 78(2), 437-441, (2003).
- [28] Lee, S. C., Lee, S. M., Lee, J. W., Lee, J. B., Lee, S. M., Han, S. S., ... & Kim, H. J. *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(42), 18420-18423, (2009).
- [29] Tang, Y., Yang, L., Qiu, Z., & Huang, J. *Journal of Materials Chemistry*, 19(33), 5980-5984, (2009).
- [30] Lu, H. W., Zeng, W., Li, Y. S., & Fu, Z. W. *Journal of power sources*, 164(2), 874-879, (2007).
- [31] Ju, S. H., & Kang, Y. C. *Journal of Power Sources*, 189(1), 185-190, (2009).
- [32] Tang, Y., Yang, L., Fang, S., & Qiu, Z. *Electrochimica Acta*, 54(26), 6244-6249, (2009).
- [33] Gao, J., Jiang, C., Ying, J., & Wan, C. *Journal of Power Sources*, 155(2), 364-367, (2006).
- [34] Kanamura, K., Chiba, T., & Dokko, K. *Journal of the European Ceramic Society*, 26(4-5), 577-581, (2006).
- [35] I. U. Sim, H. Y. Kwak, G. T. Byun, J. P. Park, (2008).
- [36] Z. Wen, Z. Gu, S. Huang, J. Yang, *Journal of Power Sources*, 146,670, (2005).



fathayunes.leila@gmail.com

دکتر لیلا فتح یونس، نویسنده
اول مقاله، عضو هیات علمی
دانشگاه بناب، گروه مهندسی
مواد

مروری بر پوشش‌های سرامیکی سخت مورد استفاده در اصلاح سطح ایمپلنت‌های فلزی

لیلا فتح یونس^{۱*}، ویدا خلیلی^۱، حامد نامدار اصل^۲، مهدی ملکی^۲،
احد نسیمی اصل^۲، علی بهروزی پور^۲

^۱ استادیار گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بناب، بناب
^۲ دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بناب، بناب

چکیده: انتخاب و آماده سازی مواد جهت کاشته شدن در بدن یکی از حساس‌ترین مسائل در حوزه مهندسی است. مواد زیستی فلزی نظیر تیتانیم و آلیاژهای آن، فولادهای زنگ نزن، آلیاژ کبالت-کروم و غیره به دلیل دارا بودن خواص مکانیکی قابل قبول از گزینه‌های مناسب در کاربردهای پزشکی می‌باشند. اما این فلزات زیست خنثی هستند و لذا یکپارچگی آنها با بافت‌های استخوانی اطراف امکان پذیر نیست. از طرفی، شرایط موجود داخل بدن موجب می‌شود تا ایمپلنت‌های فلزی کاشته شده در معرض سایش باشند. بقایای حاصل از این سایش اغلب موجب التهاب و پاسخ‌های ایمنولوژیک می‌شوند. در موارد حادتر، سلول‌های زیستی بر روی ذرات حاصل از سایش قرار گرفته و سبب ایجاد فصل مشترک سست بین ایمپلنت و بافت میزبان می‌شوند. همچنین خوردگی ایمپلنت‌های فلزی سبب انتشار یون‌های سمی و نیز افت خواص مکانیکی می‌شود. لذا به منظور بهبود زیست سازگاری، جلوگیری از خوردگی، سایش و شکست‌های خستگی، اصلاح سطح فلزات زیستی کاشته شده توسط پوشش‌های سرامیکی سخت به خصوص در نواحی تحت بارگذاری شدید، پیچیده و متناوب حائز اهمیت است. هدف از این مقاله معرفی و بررسی ویژگی‌های پوشش‌های سرامیکی مورد استفاده جهت اصلاح سطح ابزار جراحی و ایمپلنت‌های فلزی و نیز روش‌های اعمال آنها می‌باشد.
کلمات کلیدی: ایمپلنت‌های فلزی، پوشش‌های سرامیکی سخت، سایش و خستگی، خوردگی.

۱- مقدمه

جایگزینی مفاصل ران، زانو و لگن در درمان آرتروز شدید موثر است. در این زمینه، کاشت ایمپلنت‌های مصنوعی درد را کاهش داده و کیفیت زندگی بیماران را بهبود می‌بخشد [۱]. استحکام بالا و عدم سمیت برخی فلزات نظیر تیتانیم و آلیاژهای آن، فولادهای زنگ نزن، آلیاژهای کبالت کروم و غیره سبب گسترده‌ی کاربرد آنها در ساخت پروتزها و ایمپلنت‌ها شده است. با این حال، مقاومت به سایش و خواص تریبولوژیکی پایین این فلزات استفاده از آنها را به عنوان مواد زیستی ایده‌آل محدود کرده است [۲، ۳]. به طور میانگین، مفاصل مصنوعی تنها ۱۰ الی ۱۵ سال قبل از شکست دوام می‌آورند که به دلیل سست شدن ناشی از استئوآرژیت می‌باشد. حضور بقایای حاصل از سایش ایمپلنت‌ها می‌تواند یکی از عوامل بروز استئوآرژیت باشد. میزان فعالیت بیمار، وزن بدن، نوع تنش‌های وارده، خواص، هندسه و ابعاد ایمپلنت، میزان سایش را در سطوح تماسی تحت تاثیر قرار می‌دهند [۱]. از آنجاییکه ذرات و بقایای حاصل از سایش سبب التهاب و به مخاطره افتادن سلامتی می‌شوند [۴، ۵]، کاهش سایش در سطوح مالشی و افزایش دوام مفاصل مصنوعی کاشته شده در قسمت‌های تحت تنش و تحمل کننده وزن بدن ضروری است [۱]. یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار بر روی موفقیت ایمپلنت‌های فلزی مقاومت به خستگی است. برای مثال، سست شدن پیچ ایاتمنت^۱ در پروتزهای ایمپلنت دندانی به دلیل تکرار شل و سفت کردن آن سبب شکست‌های خستگی می‌شود [۶]. همچنین، محصولات خوردگی فلزات در تماس با محیط‌های خورنده بدن،

^۱ برای اینکه پروتز ثابت را روی ایمپلنت دندان قرار دهیم نیاز به قطعه‌ای به اسم ایاتمنت داریم که به فیکسچر متصل شود.

مشابه بقایای سایش، برای سلامتی مضر هستند [۵]. از طرفی ماهیت زیست خنثایی فلزات موجب می‌شود به محض کاشته شدن در بدن توسط بافت‌های فیبری احاطه شوند و در نتیجه فصل مشترک سستی را با استخوان اطراف تشکیل دهند که سبب لقی ایمپلنت می‌شود [۲]. گرچه پوشش‌های کلسیم فسفاتی برای افزایش زیست‌فعالی و مقاومت به خوردگی به طور گسترده‌ای بر روی سطح ایمپلنت‌های فلزی اعمال می‌شوند، اما استحکام چسبندگی و خواص مکانیکی پایین این پوشش‌ها برای کاربردهای طولانی مدت در شرایط تحت بار رضایت بخش نیست [۷]. بنابراین راهکارهای موجود شامل (۱) استفاده از مواد جدید مقاوم به سایش و (۲) بهبود سختی و مقاومت به سایش فلزات موجود به وسیله افزودن عناصر آلیاژی و یا انجام اصلاحات بر روی سطح آن‌ها است [۸]. اصلاح سطح می‌تواند توسط اعمال پوشش‌های سرامیکی سخت نظیر کربن الماس مانند^۱ (DLC)، TiN و TiC انجام گیرد [۵، ۹ و ۱۰]. بنابراین در این مقاله مروری به معرفی روش‌های مورد استفاده برای اعمال پوشش‌های سرامیکی سخت و تاثیر این پوشش‌ها بر روی مقاومت به سایش، خستگی، خوردگی و زیست‌فعالی پروتزها و ایمپلنت‌های فلزی پرداخته می‌شود.

۲- مروری بر مطالعات انجام گرفته

۲-۱- روش‌های اعمال پوشش‌های سرامیکی سخت

امروزه روش‌هایی نظیر رسوب‌دهی بخار فیزیکی (PVD)^۲، رسوب‌دهی بخار شیمیایی (CVD)^۳، پاشش حرارتی و نیتراسیون گازی برای ایجاد لایه‌های سرامیکی سخت روی سطح توسعه یافته‌اند [۵، ۸ و ۱۱]. فرایند ساخت ایده‌آل فرایندی است که بتواند کیفیت خوب نظیر تراکم، یکنواختی و چسبندگی مناسب را برای پوشش ارائه دهد [۱]. PVD یک تکنیک تجاری برای اعمال پوشش‌های سرامیکی نیتریدی و کاربیدی بدون آسیب رساندن به خواص مکانیکی زیرلایه است [۱۲]. روش‌های PVD شامل کندوپاش مگنترونی، کندوپاش قوس کاتدی، رسوب‌دهی لیزر پالسی (PLD)^۴ و غیره هستند. از آنجایی که برای اعمال پوشش‌های کامپوزیتی در روش قوس کاتدی نیاز به تارگت ترکیبی گران‌قیمتی می‌باشد، لذا این روش برای تولیدات صنعتی مقرون به صرفه نیست [۱۱]. همچنین تکنیک‌هایی نظیر کندوپاش مگنترونی و PLD به دلیل محیط دوستانه بودن، امکان کنترل ترکیب، کاهش چگالی عیوب و بهبود تراکم دانه‌ها در پوشش مورد توجه هستند [۳، ۸]. در مقابل استفاده از گازهای سمی و دماهای بالا از معایب تکنیک CVD است [۱۱]. دماهای بالا منجر به تحولات فازی و تغییرات ریزساختاری در زیرلایه فلزی می‌شود که برای کاربردهای حساس قابل قبول نیست [۵]. به دلیل دماهای نسبتاً پایین‌تر مورد نیاز، روش رسوب‌دهی بخار شیمیایی به کمک پلاسما (PE or PA-CVD)^۵ می‌تواند برای غلبه بر این مشکل مناسب باشد [۱۳]. همچنین اعمال پوشش‌های یکنواخت با روش پلاسما اسپری بر روی زیرلایه‌هایی با هندسه پیچیده مشکل بوده و چسبندگی پوشش ضعیف است [۲]. در روش نیتراسیون گازی نیز نفوذ نیتروژن سبب تشکیل یک لایه ترکیبی و به دنبال آن ناحیه نفوذی شامل محلول‌های بین‌نشینی نیتروژن در تیتانیوم می‌شود [۲]. در این روش به دلیل ایجاد یک گرادین ترکیبی از سطح خارجی تا مغز، استحکام بخشی زیرلایه نیز انجام گرفته و در نتیجه امکان لایه لایه شدن و ترک دار شدن پوشش به دلیل وجود اختلاف در سختی زیرلایه فلزی و پوشش سرامیکی نیتریدی کاهش می‌یابد. اما به علت نیاز به دمای بالا، ریزساختار زیرلایه در طول فرآیند پوشش‌دهی تغییر می‌کند [۱۴].

۲-۲- تاثیر پوشش‌های سرامیکی سخت بر روی مقاومت به سایش و ضریب اصطکاک

برای افزایش دوام مفاصل مصنوعی در مقابل سایش، اصلاح سطوح تحت بارگذاری شدید با پوشش‌های سرامیکی کاربیدی و نیتریدی انجام می‌گیرد [۵، ۱]. همچنین، پوشش‌های سه تایی (Ti, X) N که در آن X عناصری نظیر B, C, Al, Si و Cr است، می‌توانند به عنوان پوشش‌های مقاوم‌تر به سایش لحاظ گردند. برای مثال، مطابق منحنی‌های بار-عمق فروروندگی در شکل ۱، عمق نفوذ فرورونده بر کوویچ برای پوشش‌های TiN و Ti-Si-N اعمالی به روش کندوپاش مگنترونی روی فولاد زنگ نزن 316L در ماکزیمم بار اعمالی ۳ میلی نیوتن به ترتیب ۹۳ و ۸۰ نانومتر است، در حالی که عمق فرورفتگی برای نمونه بدون پوشش در

¹ Diamond Like Carbon

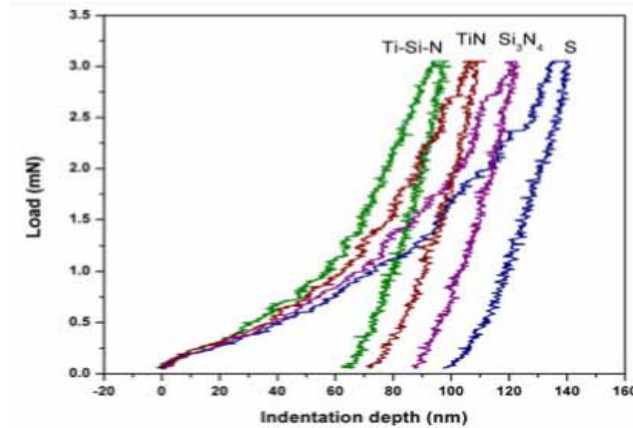
² Physical Vapor Deposition

³ Chemical Vapor Deposition

⁴ Pulsed laser deposition

⁵ Plasma-Enhanced or Plasma-Assisted Chemical Vapor Deposition

حدود ۱۴۰ نانومتر می‌باشد. از آنجایی که کمترین عمق نفوذ بیانگر بالاترین سختی می‌باشد، ملاحظه می‌شود که افزودن Si، سختی سطحی و لذا مقاومت به سایش پوشش نیتریدی را افزایش می‌دهد [۱۱].

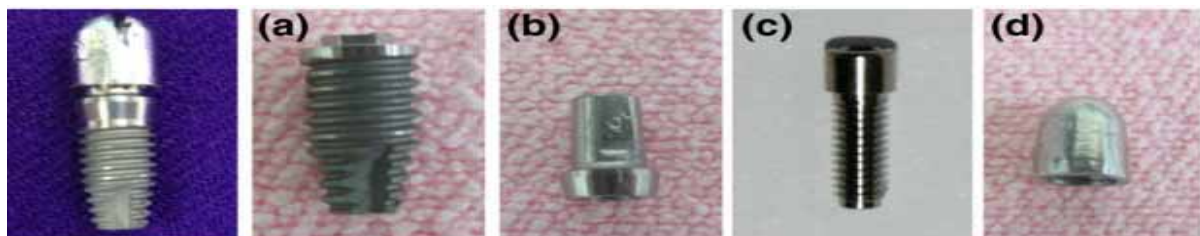


شکل ۱- منحنی‌های بار-جاب‌جایی برای فولاد زنگ نزن 316L و پوشش‌های Ti-Si-N و TiN [۱۱].

در واقع کاهش اندازه دانه‌ها در نتیجه ممانعت از رشد آن‌ها با تشکیل فاز آمورف Si_3N_4 یا SiN_x به عنوان زمینه در پوشش سه تایی [۱۱، ۱۳]، سبب افزایش مرزدانه‌ها و در نتیجه افزایش سختی می‌شود [۵]. مطابق نتایج به دست آمده توسط شیژی^۱ و همکاران، مقدار سختی پوشش سه تایی اعمالی به روش PA-CVD در مقادیر بالاتر از ۱۵ درصد اتمی Si کاهش می‌یابد. کاهش سختی با افزایش بیشتر میزان Si می‌تواند به دلیل تشکیل $TiSi_2$ با سختی پایین در پوشش باشد [۵]. با توجه به یافته‌های وپرک^۲ و همکاران نیز این فاز معمولاً در پوشش‌های Ti-Si-N با میزان Si بیشتر از ۱۵ درصد اتمی وجود دارد [۱۳]. به علاوه، بررسی‌های انجام گرفته توسط سان^۳ و همکاران نشان داد که حضور عنصر Si در پوشش‌های سرامیکی سخت اکسی نیترید تیتانیوم (Ti, O, N) اعمالی بر روی NiTi سبب کاهش ضریب اصطکاک می‌شود. کاهش ضریب اصطکاک در این پوشش می‌تواند به دلیل تشکیل لایه هیبریدی SiO_2/TiO_2 روی سطح و ویژگی روانکاری SiO_2 باشد [۴]. لازم به ذکر است که گرمای تولید شده در نتیجه اصطکاک می‌تواند شرایط مناسب را برای اکسیداسیون فراهم می‌سازد [۸]. ما^۴ و همکاران نیز نشان دادند که ضریب اصطکاک پوشش سرامیکی Ti-Si-C-N در غلظت‌های بالای کربن کاهش می‌یابد که می‌تواند به شکل‌گیری فاز روانکار مشابه گرافیت مربوط باشد [۱۵].

۲-۳- بهبود مقاومت به خستگی توسط پوشش‌های سرامیکی سخت

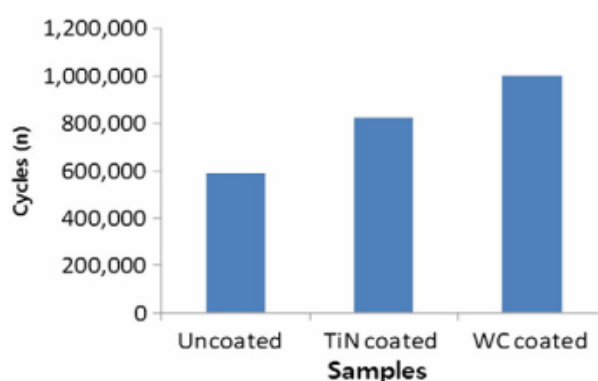
یکی از عوامل موثر در موفقیت ایمپلنت‌های فلزی مقاومت به خستگی است. بارگذاری‌های متناوب و چرخه‌ای سبب شکست خستگی ایمپلنت‌ها می‌شوند [۱۶]. برای مثال شکست‌های خستگی در نتیجه تکرار شل و سفت کردن پیچ اباتمنت در پروتزهای ایمپلنت دندانی که در شکل ۲ نشان داده شده است، رخ می‌دهند [۶].



شکل ۲- بخش‌های مختلف ایمپلنت دندانی (الف) فیکسچر، (ب) اباتمنت، (ج) پیچ اباتمنت و (د) کلاه فلزی [۶].

¹ Shizhi
² Veprek
³ Sun
⁴ Ma

با توجه به اینکه بیشتر شکست‌های خستگی از سطح شروع می‌شوند، لذا شرایط سطحی نظیر زبری، سختی و نوع تنش‌های القایی در سطح، استحکام خستگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. شکست خستگی ایمپلنت‌ها می‌تواند با کاهش زبری سطح، القای تنش‌های فشاری روی سطح و پوشش‌دهی سطح با مواد سرامیکی سخت بهبود یابد. تنش‌های فشاری بر روی سطح ایمپلنت‌های فلزی می‌توانند توسط عملیات شات پینینگ القا شوند، اما انجام این فرایند به دلیل مارپیچی بودن سطح پیچ اباتمنت مشکل است. روش دیگر بهبود استحکام خستگی، افزایش سختی سطح توسط مواد سرامیکی سختی نظیر WC و TiN است [۶]. در این راستا برخی تولید کنندگان ایمپلنت‌های دندانی، پیچ اباتمنت پوشش‌دار را برای جلوگیری از جابه‌جایی پروتز دندانی در نتیجه تمایل به شل شدن اتصالات پیچی اباتمنت پیشنهاد می‌کنند [۱۷]. در این زمینه مطالعات جئونگ^۱ و همکاران نشان داد که پیچ اباتمنت تیتانیومی بدون پوشش و پوشش داده شده با WC و TiN توسط روش PVD در بار اعمالی ۴۲۰ نیوتن به ترتیب در تعداد سیکل‌های ۵۸۷۸۰۷، ۸۲۶۵۲۳ و ۱۰^۶ دچار شکست شدند (شکل ۳) [۶]. افزایش مقاومت به خستگی می‌تواند به دلیل سختی بالای پوشش‌های سرامیکی اعمالی و نیز کاهش عیوب سطحی در نتیجه پوشش‌دهی باشد. این در حالی است که عیوب سطحی می‌توانند نقاط تمرکز تنش باشند [۶].



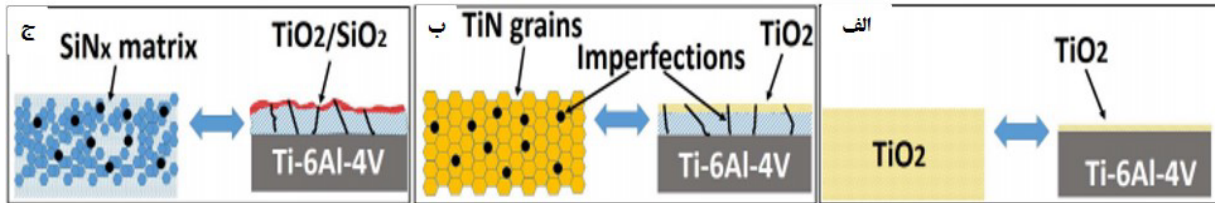
شکل ۳- متوسط عمر خستگی پیچ اباتمنت بدون پوشش و پوشش داده شده با WC و TiN در بار اعمالی ۴۲۰ نیوتن [۶].

۲-۴- قابلیت حفاظت از خوردگی پوشش‌های سرامیکی سخت

ایمپلنت‌های فلزی کاشته شده داخل بدن در معرض محیط‌های آبی نظیر خون، بزاق و مایعات بدن که حاوی آنیون‌ها (Cl^- ، HCO_3^- ، HPO_4^{2-} ، SO_4^{2-})، کاتیون‌ها (Na^+ ، K^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+})، مواد آلی و اکسیژن حل شده می‌باشند، مستعد خوردگی هستند [۴، ۱۱ و ۱۳]. محصولات تشکیل شده در نتیجه خوردگی معمولاً موجب التهاب، عفونت و سمیت سلولی می‌شوند [۱۱، ۱۳]. همچنین، آلیاژهای تیتانیومی Ti-6Al-4V و NiTi، آلیاژ Co-Cr و سایر فلزات مورد استفاده داخل بدن یون‌های سمی نظیر Al، V، Ni، Cr و Co را در نتیجه خوردگی آزاد می‌کنند که انتشار آن‌ها منجر به سمیت سلولی و حساسیت‌های آلرژیک می‌شود [۲، ۴، ۱۲ و ۱۸]. لذا کنترل رهایش عناصر سمی و حداقل کردن میزان تشکیل محصولات خوردگی با بهبود مقاومت به خوردگی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد [۱۲، ۱۸]. برای این منظور پوشش‌های سرامیکی DLC و پایه تیتانیومی نظیر نیتريد و کاربید تیتانیم به دلیل سختی توام با مقاومت به خوردگی و نیز عدم سمیت مناسب هستند [۷، ۱۳ و ۱۸]. همچنین افزایش حفاظت از خوردگی پوشش‌های سخت دوتایی با افزودن عنصر سوم به داخل ترکیب آن‌ها جهت ایجاد پوشش‌هایی نظیر TiCN، TiBN، TiNbN و TiSiN امکان‌پذیر است [۵، ۱۳]. در میان پوشش‌های سرامیکی سخت سه تایی، پوشش Ti-Si-N به دلیل دارا بودن سختی، تافنس شکست و مقاومت به سایش بالا در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۵]. بهبود مقاومت به خوردگی در پوشش Ti-Si-N در مقایسه با TiN می‌تواند به دلیل احاطه شدن کریستالیت‌های TiN توسط زمینه آمورف Si_3N_4 در ساختار این پوشش باشد. این در حالی است که مواد آمورف به دلیل اینکه فاقد مرز دانه و سایر عیوبی هستند که به عنوان مکان‌های ترجیحی برای خوردگی و نفوذ محیط خورنده می‌باشند، رفتار الکتروشیمیایی بهتری را ارائه می‌دهند [۵، ۱۱ و ۱۳]. از طرفی مقاومت به خوردگی بالا در این پوشش سه تایی به دلیل تشکیل لایه پسیو هیبریدی TiO_2/SiO_2 بر روی سطح آن در محیط SBF است، در حالیکه مطابق شکل

¹ Jeong

۴ تنها لایه اکسیدی TiO_2 می‌تواند بر روی آلیاژهای تیتانیومی و پوشش TiN تشکیل شود [۵، ۱۳]. در این راستا مطالعات سان^۱ و همکاران نیز نشان دادند که افزودن Si به پوشش نیتريدی اکسیدی تیتانیم (Ti, O, N) سبب افزایش مقاومت به خوردگی می‌شود که به دلیل پایین بودن انرژی آزاد گیبس برای تشکیل SiO_2 در دمای اتاق در مقایسه با TiO_2 و TiN و پایداری شیمیایی بیشتر SiO_2 است [۴].



شکل ۴- تصویر شماتیکی از لایه‌های اکسیدی تشکیل شده بر روی الف) $Ti-6Al-4V$ (ب) TiN (ج) $Ti-Si-N$ در محیط SBF [۱۳].

۲-۵- آب دوستی پوشش‌های سرامیکی سخت

ماهیت آب‌گریزی ایمپلنت‌های فلزی عامل دیگری است که کاربرد آن‌ها را در داخل بدن محدود می‌کند، زیرا که آب دوستی بالاتر می‌تواند جذب پروتئین و چسبندگی سلول‌ها را به سطح بهبود بخشد. یافته‌ها حاکی از آن است که آب دوستی از شیمی سطح، زبری و بار الکتریکی تاثیر می‌پذیرد [۱۹]. نتایج بررسی‌های موثق^۲ و همکاران نشان داد که افزودن عنصر Si به پوشش سرامیکی TiN سبب افزایش آب دوستی این لایه سخت سطحی می‌شود. در واقع، به محض قرارگیری در معرض تابش نور UV ، فعالیت فوتوکاتالیستی TiO_2 می‌تواند به عنوان دلیل اصلی تشکیل گروه‌های هیدروکسیل بر روی سطح باشد. سپس این گروه‌های هیدروکسیلی می‌توانند جذب هر دو اکسید سطحی TiO_2 و SiO_2 در پوشش سه تایی $Ti-Si-N$ شوند، این در حالی است که تنها اکسید TiO_2 بر روی آلیاژهای تیتانیومی و پوشش TiN وجود دارد و در نتیجه تعداد هیدروکسیل‌های کمتری جذب سطح می‌شوند. وجود تعداد بیشتر گروه‌های عاملی هیدروکسیلی در سطح به معنی افزایش آب دوستی است [۱۳]. به علاوه، مشاهدات گان^۳ و همکاران نشان داد که حتی در غیاب تابش UV نیز آب دوستی لایه هیبریدی TiO_2/SiO_2 بالاتر از TiO_2 است [۲۰]. علاوه بر شیمی سطح، مطابق تئوری ونزل^۴ زبری سطحی بالاتر عامل دیگری است که سبب بهبود آب دوستی می‌شود. در این ارتباط نتایج ارزیابی سطح پوشش‌های TiN و $Ti-Si-N$ توسط AFM نشان داده که با افزودن Si زبری سطح پوشش اعمالی به روش PA-CVD افزایش می‌یابد که می‌تواند به دلیل اثرات اسپینگ قوی $SiCl_4$ مورد استفاده به عنوان پیش ماده تامین کننده عنصر Si باشد [۱۳].

۲-۶- زیست فعالی پوشش‌های سرامیکی سخت

ماهیت زیست‌خنثی فلزات یکی از چالش‌های مهم جهت فیکس کردن و پایداری طولانی مدت ایمپلنت‌ها است [۴]. زیرا زیست‌خنثایی سبب می‌شود تا فلزات کاشته شده در بدن به دلیل کپسوله شدن توسط بافت‌های فیبری، قابلیت پیوند مستقیم با استخوان‌های اطراف را نداشته باشند [۲]. در حالی که مواد زیست‌فعال توانایی تشکیل لایه آپاتیتی مشابه استخوان را بر روی سطح خود در محیط‌های بدن دارند و توسط این لایه آپاتیتی به استخوان پیوند می‌یابند [۲، ۱۰، ۲۱]. پیزکنک^۵ و همکاران گزارش کرده‌اند که با اعمال پوشش TiN بر روی پروتزهای مفاصل ران تیتانیومی، تشکیل رسوبات آپاتیتی روی سطح آن‌ها تسریع می‌یابد. در واقع فازهای اکسی نیتريد تیتانیم (TiO_xNy) در فصل مشترک لایه پسیو TiO_2 و پوشش TiN تشکیل می‌شوند. تحت شرایط سایش شدید، لایه پسیو اکسیدی می‌تواند به تدریج از روی سطح حذف شده و فازهای اکسی نیتريدی به طور مستقیم در تماس با مایعات بدن قرار گیرند. حضور حالت‌های ترکیبی والانس اتم‌های تیتانیم در این فازها سبب موضع‌گیری

¹ Sun

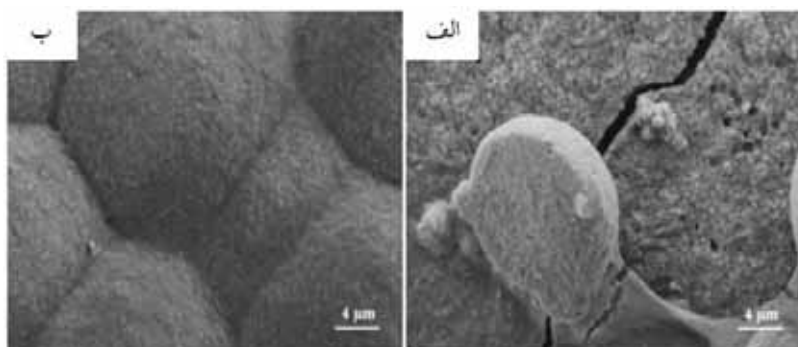
² Movassagh

³ Guan

⁴ Wenzel

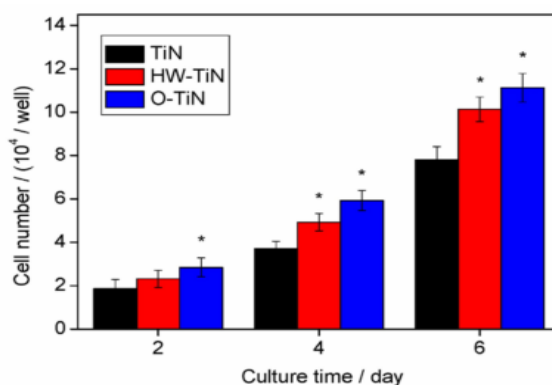
⁵ Pisanec

بارهای منفی بر روی اکسیژن‌های سطحی می‌شود که در جذب کاتیون‌های کلسیم موثر است. در مرحله بعدی نیز با وارد شدن گروه‌های فسفاتی با بار منفی، رسوبات کلسیم فسفاتی تشکیل شده [۱۰] و در نهایت تبدیل به آپاتیت می‌شوند [۴]. همچنین نتایج تحقیقات سان و همکاران نشان داد که افزودن Si به پوشش‌های اکسی نیتريدی (Ti, O, N) سبب تشکیل گروه‌های سیلانول Si-OH بر روی سطح پوشش می‌شود. این گروه‌ها می‌توانند در محیط SBF که دارای pH در حدود ۷/۴ است، با یون‌های هیدروکسیل واکنش داده و سطح با بار منفی را ایجاد کنند که مجدداً نقش کلیدی را در جذب کاتیون‌های کلسیم و تسریع در تشکیل آپاتیت دارند (شکل ۵) [۴].



شکل ۵- لایه آپاتیتی رسوب کرده بر روی آلیاژ NiTi پوشش داده شده با الف) (Ti, O, N) و ب) (Ti, O, N)(Si, O, N)، پس از ۱۴ روز غوطه‌وری در محلول SBF [۴].

تامپی^۱ و همکاران نیز مشاهده کردند که سلول‌های شبه استخوانی Saos-2 بر روی سطح تیتانیم پوشش داده شده با لایه سرامیکی سخت Ti-Si-N توسط روش کندوپاش مگنترونی در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش میزان کلسیم و فسفاتاز قلیایی (ALP)^۲ بیشتری را در طول ۲۸ روز تولید می‌کنند که به عنوان معیاری برای تمایز و مینرالیزاسیون این سلول‌ها است. در این مطالعه، نتایج آزمون MTT نشان داد که این پوشش تاثیر مثبتی بر روی رشد سلول‌های استخوانی دارد [۳]. یافته‌های شی^۳ و همکاران نیز حاکی از این است که اکسیداسیون جزئی پوشش TiN توسط عملیات هیدروترمال (HW-TiN) و عملیات ازن (O-TiN) سبب بهبود آب دوستی و همچنین افزایش چسبندگی و تکثیر سلول‌های استئوبلاست می‌شود (شکل ۶) [۲۲].



شکل ۶- تعداد سلول‌های کشت شده بر روی نمونه‌های تیتانیمی پوشش داده شده با لایه TiN، HW-TiN و O-TiN در مدت زمان‌های مختلف [۲۲].

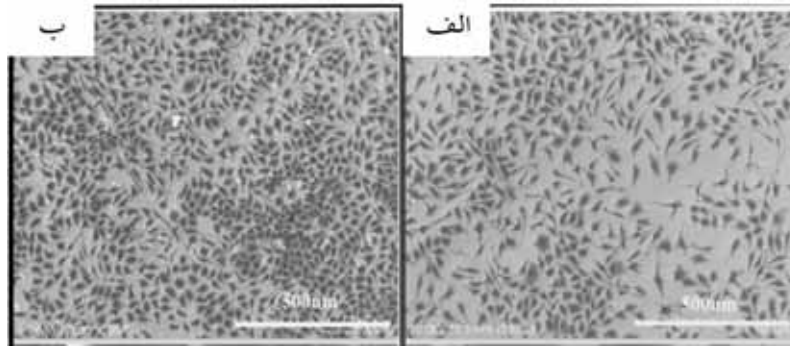
در انتها نتایج تحقیقات جین^۴ و همکاران نشان داد که افزایش زبری و آب دوستی سطح در نتیجه اعمال پوشش سرامیکی TiN بر روی NiTi موجب افزایش چسبندگی و تکثیر سلول‌های فیبروبلاست می‌شود (شکل ۷) [۲۳].

¹ Thampi

² Alkaline phosphatase

³ Shi

⁴ Jin



شکل ۷- تصویر SEM از مورفولوژی سلول‌های فیبروبلاست کاشته شده بر روی آلیاژ NiTi (الف) بدون پوشش و (ب) پوشش‌دهی شده با TiN [۲۳].

۳- نتیجه‌گیری

سایش، شکست خستگی و خوردگی پدیده‌های مخربی هستند که کارایی و طول عمر پروتزها و ایمپلنت‌های فلزی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از این رو، پوشش‌های سرامیکی کاربردی و نیتريدی به منظور افزایش سختی سطح و در نتیجه بهبود مقاومت به سایش بر روی ایمپلنت‌ها و ابزار جراحی فلزی اعمال می‌شوند. همچنین با توجه به بهبود کیفیت سطح و پوشانده شدن عیوب سطحی پس از اعمال این پوشش‌ها، مقاومت به خستگی افزایش می‌یابد. این پوشش‌ها به عنوان یک لایه حفاظتی در مقابل خوردگی فلزات در تماس با مایعات خوردنده بدن نیز عمل می‌کنند. لازم به ذکر است محصولات حاصل از سایش و خوردگی و نیز رهایش یون‌های فلزی در نتیجه خوردگی سبب حساسیت، سمیت سلولی و ایجاد پیوند نامناسب بین بافت زنده و سطح ایمپلنت می‌شوند. از طرفی پوشش‌های سرامیکی سخت زبری و آب دوستی سطح را نیز تحت تاثیر قرار داده و بنابراین سبب افزایش زیست‌فعالی روی سطح ایمپلنت‌ها و پروتزهای فلزی می‌شوند.

مراجع

- [1] H. Search, C. Journals, A. Contact, Effects of surface coating on reducing friction and wear of orthopaedic implants, *Science and Technology of Advanced Materials* 15 (2014) 014402,
- [2] I. Mutlu, Sinter-coating method for the production of TiN-coated titanium foam for biomedical implant applications, *Surface and Coatings Technology* 232 (2013) 396–402.
- [3] T. Biomineralisation, S. Bone, B. Subramanian, Biomineralisation with Saos-2 bone cells on TiSiN sputtered Ti alloys, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 155 (2017) 1-10.
- [4] T. Sun, N. Xue, C. Liu, C. Wang, J. He, Bioactive (Si, O, N)/(Ti, O, N)/Ti composite coating on NiTi shape memory alloy for enhanced wear and corrosion performance, *Applied Surface Science* 356 (2015) 599–609.
- [5] F. Movassagh-alanagh, A. Abdollah-zadeh, M. Aliofkhaezraei, M. Abedi, Improving the wear and corrosion resistance of Ti – 6Al – 4V alloy by deposition of TiSiN nanocomposite coating with pulsed-DC PACVD, *Wear* 390–391 (2017) 93–103.
- [6] Y. Jeong, C. Lee, C. Chung, M. Son, H. Choe, Effects of TiN and WC coating on the fatigue characteristics of dental implant, *Surface and Coatings Technology* 243 (2014) 71–81.
- [7] G. Wang, H. Zreiqat, Functional Coatings or Films for Hard-Tissue Applications, *Materials* 3(2010) 3994-4050.
- [8] Z. Lan, The Effect of Coatings on the Wear Behavior of Ti6Al4V Alloy Used in Biomedical Applications The Effect of Coatings on the Wear Behavior of Ti6Al4V Alloy Used in Biomedical Applications, *Materials Science and Engineering* 295 (2018) 012044.
- [9] G. Dearnaley, J.H. Arps, Biomedical applications of diamond-like carbon (DLC) coatings: A review, *Surface and Coatings Technology* 200 (2005) 2518 – 2524.
- [10] S. Piscanec, L. Colombi, E. Vesselli, G. Comelli, O. Sbaizero, S. Meriani, A. De Vita, Bioactivity of TiN-coated titanium implants, *Acta Materialia* 52 (2004) 1237–1245.
- [11] S. Balasubramanian, A. Ramadoss, A. Kobayashi, Nanocomposite Ti – Si – N Coatings Deposited by Reactive dc Magnetron Sputtering for Biomedical Applications, *Journal of the American Ceramic Society* 95(2012) 2746–2752.
- [12] A. Wisbey, P.J. Gregson, Application of PVD TiN coating to based surgical implants, *Biomaterials* 8 (1987) 477–480.
- [13] F. Movassagh-alanagh, A. Abdollah-zadeh, M. Asgari, M.A. Ghaffari, Improving the wear and corrosion

- resistance of Ti – 6Al – 4V alloy by deposition of TiSiN nanocomposite coating with pulsed-DC PACVD, *Wear* 390–391 (2017) 93–103.
- [14] E. Marin, R. Offoia, M. Regis, S. Fusi, A. Lanzutti, L. Fedrizzi, Diffusive thermal treatments combined with PVD coatings for tribological protection of titanium alloys, *Materials and Design* 89 (2016) 314–322.
- [15] S. L. Ma, Synthesis and characterization of super hard, self-lubricating Ti – Si – C – N nanocomposite coatings, *Acta Materialia* 55 (2007) 6350–6355.
- [16] R. W. Kim, H. S. Kim, H. C. Choe, M. K. Son, Microscopic Analysis of Fractured Dental Implant Surface after Clinical Use, *Procedia Engineering* 10 (2011) 1955–1960.
- [17] C. N. Elias, D.C. Figueira, P.R. Rios, Influence of the coating material on the loosening of dental implant abutment screw joints, *Materials Science and Engineering C* 26 (2006) 1361 – 1366.
- [18] A. E. Erog, Metal ion release from TiN coated CoCrMo orthopedic implant material, *Surface and Coatings Technology* 200 (2006) 5020 – 5027.
- [19] C. Wen, *Surface coating and modification of metallic biomaterials*, Woodhead Publishing, 2015.
- [20] K. Guan, Relationship between photocatalytic activity, hydrophilicity and self-cleaning effect of TiO₂/SiO₂ films, *Surface and Coatings Technology* 191 (2005) 155–160.
- [21] L. Fathyunes, J. Khalil-Allafi, S.O.R. Sheykholeslami, M. Moosavifar, Biocompatibility assessment of graphene oxide-hydroxyapatite coating applied on TiO₂ nanotubes by ultrasound-assisted pulse electrodeposition, *Materials Science and Engineering C* 87 (2018) 10–21.
- [22] X. Shi, L. Xu, T. Bang, G. Zhou, C. Zheng, Partial oxidation of TiN coating by hydrothermal treatment and ozone treatment to improve its osteoconductivity, *Materials Science and Engineering C* 59 (2016) 542–548.
- [23] S. Jin, Y. Zhang, Q. Wang, D. Zhang, Influence of TiN coating on the biocompatibility of medical NiTi alloy, *Colloids Surfaces B Biointerfaces*. 101 (2013) 343–349.



مهندس فائزه قربانی،
نویسنده‌ی اول مقاله، دانشگاه
تبریز

f.ghorbani.eng20@gmail.com

سنتز و اصلاح نانو لوله‌ی TiO_2 به عنوان الکتروود ابر خازن

فایزه قربانی^{*}، شاهین خامنه اصل

گروه مهندسی مواد، دانشگاه تبریز

چکیده: نانو لوله‌های TiO_2 به علت خواص منحصر به فردشان از جمله قابلیت تغییر یون، پتانسیل فوتوکاتالیستی، دارابودن سطح وسیع و خواص الکتریکی قابل توجه، اهمیت زیادی کسب کرده‌اند. اما ظرفیت ویژه‌ی آن به علت وجود فازهای ترد پایین است و به علت گاف انرژی وسیع آن، رسانایی ضعیفی دارد. امروزه تلاش‌های زیادی برای اصلاح خواص نانولوله‌های TiO_2 برای کاربرد سوپر خازنی آن صورت می‌گیرد. در این مقاله انواع روش سنتز نانولوله TiO_2 از جمله روش اکسیداسیون آندی شرح داده شد و به روش‌های حرارتی و الکتروشیمیایی برای اصلاح ساختار پرداخته شد. در واقع اصلاح TNT ها توسط روش‌های حرارتی و الکتروشیمیایی و دوپ فلزی و غیر فلزی، موجب بهبود ظرفیت خازنی TNTها به عنوان الکتروود سوپر خازن‌ها می‌شود. اصلاح TNT به روش الکتروشیمیایی به علت آسانی، سهولت اجرا و هزینه‌ی پایین کاربرد دارد. در دوپ الکتروشیمیایی، Ti^{3+} به Ti^{4+} احیا می‌شود که دوپ احیایی باعث تغییر رنگ فیلم از خاکستری روشن به سیاه می‌شود و هم چنین باعث می‌شود ظرفیت ویژه‌ی نمونه احیا شده نسبت به نمونه‌ی احیا نشده، ۱۸ مرتبه افزایش پیدا کند. در اصلاح به روش الکتروشیمیایی آسیبی به ساختار وارد نمی‌شود. اصلاح به روش حرارتی، به عملیات‌های حرارتی مختلف در مراحل زینتر TNT مربوط می‌شود. بهبود ظرفیت ویژه در طول روش حرارتی، مربوط به مکان‌های والانس است که به صورت جزئی کاهش یافته‌اند و بر روی سطح ایجاد شده‌اند و هم چنین مربوط به عیوب دیگر می‌شود که در حین عملیات حرارتی وجود دارند. این روش اصلاح افزایش چشمگیری در منحنی ولتاگرام چرخه‌ای می‌شود و گزارش شده که ظرفیت ویژه را تا $911 \mu F cm^{-2}$ افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: نانولوله‌ی TiO_2 ، ابر خازن، TNT اصلاح شده، ظرفیت خازنی.

۱- مقدمه

آلودگی‌های محیطی به علت رشد فزاینده استفاده از سوخت‌های فسیلی، افزایش یافته است که ما را وادار به استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر همچون انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی گرمایی و غیره کرده است. ابزار رایج ذخیره سازی انرژی‌های تجدیدپذیر، باتری‌ها و سوپر خازن‌ها هستند. سوپر خازن‌ها به علت چگالی توان بالا (بزرگ تر $10^5 W kg^{-1}$)، عمر چرخه‌ای بالا (بیشتر از ۱۰۰۰۰۰ چرخه) و کارکرد با امنیت بالا، نسبت به باتری ارجحیت پیدا می‌کنند که منحصراً باعث رشد و بهبود ماشین‌های الکتریکی هیبریدی شده است [۱].

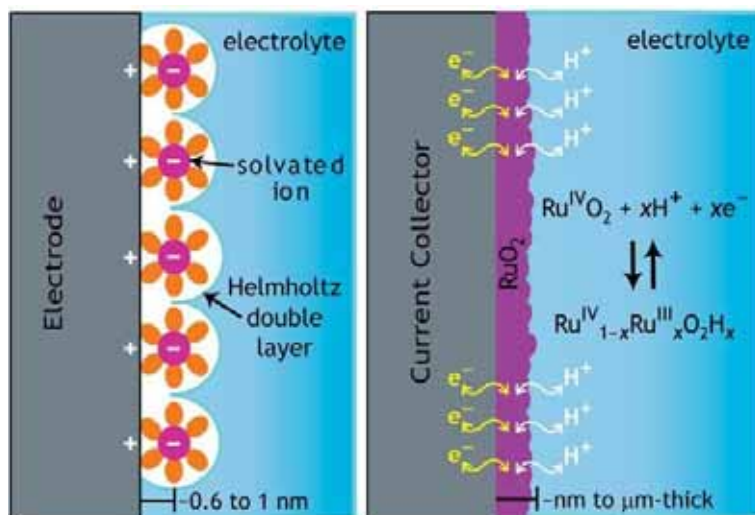
عموماً دو نوع مکانیزم: خازن‌های دولایه الکتریکی^۲ و شبه خازن‌ها برای ذخیره سازی شارژ سوپر خازن‌ها وجود دارد که نوع اول بر اساس جذب الکترواستاتیکی از یون‌های الکترولیت در فصل مشترک اکتروود و الکترولیت است در حالی که نوع دوم بر اساس انتقال شارژ القایی بین یون الکترولیت و مواد فعال می‌باشد [۱ و ۲].

عموماً مواد پایه کربنی از جمله: گرافن، کربن نانو لوله، آنیون‌های نانو کربن و کربن فعال در بهبود خازن‌های دولایه الکتریکی، به کار گرفته می‌شوند. اکسید مواد واسطه، هیدروکسیدها، اکسید فلزات ترکیبی، کامپوزیت مواد کربنی به همراه اکسیدهای فلزی و کامپوزیت‌های رسانا مثل پلی آنیلین، پلی پیروول، رفتار شبه خازنی از خود نشان داده‌اند [۱]. رفتار شبه خازنی عموماً مربوط به واکنش‌های برگشت پذیر و سریع انتقال الکترون است که در نزدیکی سطح اکتروود با فوتون جفت می‌شوند (شکل ۱) [۳].

¹ TNT: Titania Nano Tube

² EDLCs

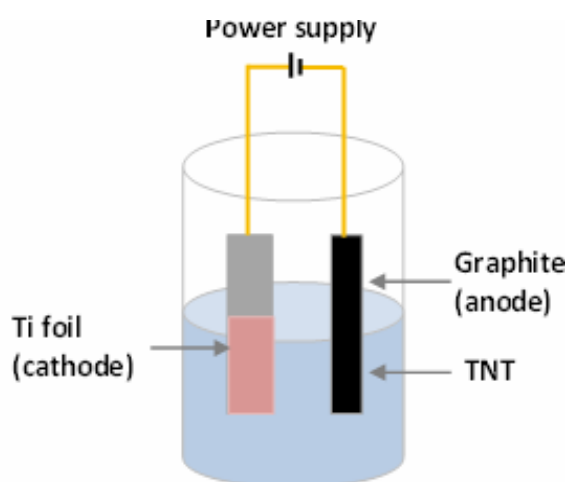
TiO₂ به علت ولتاژ کاری بالا، رفتار شبه خازنی خوب و رسانایی الکترونیکی بالا، از بهترین‌ها برای مواد شبه خازنی، محسوب می‌شود. هم چنین زیست سازگاری، سمی نبودن برای محیط و انسان، پایداری شیمیایی بالا و فراوانی زیاد، موجب کاربرد زیاد این ماده به عنوان شبه خازن شده است [۴].
مطالعات زیادی در زمینه‌ی TNT به عنوان الکتروود ابر خازن، صورت گرفته است (ایندوت [۶۵]، هویی [۷]، سالاری [۹ و ۸]، وو [۱۰] و همکارانشان).



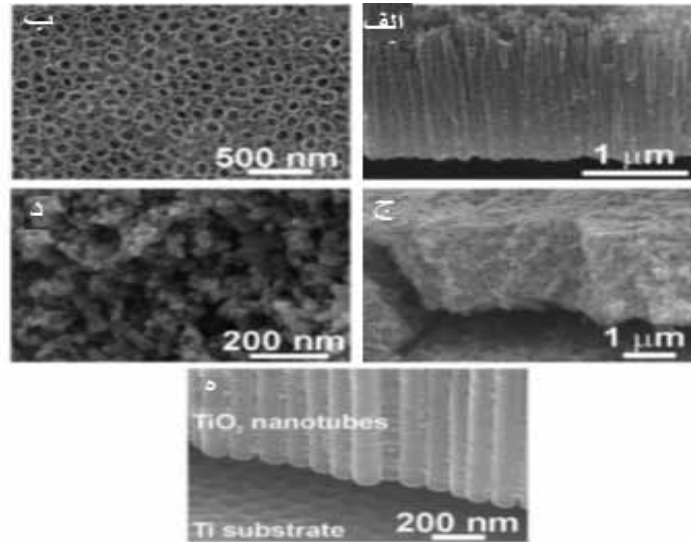
شکل ۱- طرح‌واره‌ای از ذخیره‌ی شارژ توسط (الف) EDLC و (ب) شبه خازنی [۳].

۲- سنتز نانولوله TiO₂ به روش اکسیداسیون آندی

اکسیداسیون آندی فرایندی است که طی آن یک لایه اکسید محافظ در سطح فلز مورد نظر به وجود می‌آید که در شکل ۲، به صورت طرح وار نشان داده شده است. برای انجام فرایند از یک منبع جریان مستقیم استفاده می‌شود و فلز مورد نظر به عنوان آند به قطب مثبت و کاتد مورد استفاده که معمولاً از جنس پلاتین و یا کربن است، به قطب منفی متصل می‌شود. با اعمال ولتاژ اتم‌ها در سطح آند با اکسیژن موجود در الکترولیت لایه اکسید را به وجود می‌آورند و در کاتد نیز گاز هیدروژن آزاد می‌شود [۱۱ و ۱۲]. در شکل ۳ نمونه‌ای از نانولوله‌های سنتز شده توسط اکسیداسیون آندی نشان داده شده است. [۱۳]



شکل ۲- تصویر طرح وار از اکسیداسیون آندی



شکل ۳- تصاویر SEM - از نانولوله‌های TiO_2 با ضخامت ۱,۸ میکرون، (الف) از مقاطع، (ب) از بالا و تصاویر (ج و د) لایه‌های فشرده شده از زیر ساختار در (ج) مقاطع و (د) از بالا و تصویر (ی) جزئیاتی از فصل مشترک نانولوله‌ها و بستر نشان می‌دهد [۱۳]

۳- نانولوله TiO_2 به عنوان ابر خازن

TNT ها به طور گسترده در کاربردهای سلول‌های خورشیدی، کاتالیست‌ها، دستگاه‌های الکتروشیمیایی و هم چنین سوپر خازن‌ها کاربرد دارند. امروزه سوپر خازن‌ها به علت ذخیره سازی انرژی و سیستم‌های تبدیلی، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. TNT ها به علت پایداری شیمیایی، سطح وسیع، پیوستگی آن با مواد فعال و شارژ و تخلیه‌ی بدون تنزل و پیوسته، باعث بهبود عملکرد ظرفیتی می‌شود. از دیدگاه مکانیزم شارژ، پیشنهاد می‌شود که TNT ها در ظرفیت غیر القایی، نقش اندکی داشته باشند [۱۴]. عموماً خازن‌های پایه تیتانیا می‌توانند شبیه خازن‌های دولایه الکتریکی متداول عمل کنند که مثل مکانیزم‌های غیر القایی با ظرفیت ویژه‌ی خیلی کم ($10 \mu\text{F cm}^{-2}$ تا 40)، در حین فرآیند شارژ و تخلیه عمل کنند [۱۵]. اما سطح وسیعی که TNT تصرف می‌کند ممکن است منجر به نمونه‌ایی با ظرفیت ویژه بالا شود. عملکرد ظرفیتی مناسبی از TNT توسط سالاری و همکاران [۹] به مقدار $911 \mu\text{F cm}^{-2}$ تا $911 \mu\text{F cm}^{-2}$ 538 در نرخ کاهشی 100 mV s^{-1} تا 1 mV s^{-1} در محلول ۱ مولار KOH گزارش شده است. در مقایسه با پودر تیتانیا، ظرفیت ویژه به دست آمده کمتر از TNT (که برابر $181 \mu\text{F cm}^{-2}$ تا 33) در همان نرخ اسکن می‌باشد و نیز ایندوت و همکاران، تاثیر شرایط تکلیس در عملکرد ظرفیتی الکترواد ابرخازنی TNT را بررسی نمودند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که زمان تکلیس زیاد، موجب ظرفیت خازنی بالاتر می‌شود. به طوری که که ۵ ساعت تکلیس، ظرفیت خازنی را به $52 \mu\text{F cm}^{-2}$ می‌رساند؛ در حالی که طی ۱ ساعت تکلیس ظرفیت خازنی به $16 \mu\text{F cm}^{-2}$ در نرخ اسکن 5 mV s^{-2} می‌رسد [۵]. ایندوت و همکاران هم چنین تاثیر پارامترهای آندایز را بر روی عملکرد ظرفیتی الکترواد TNT بررسی نمودند. آن‌ها از طراحی باکس بنکن^۱ برای بررسی بهترین پارامتر جهت دستیابی به ظرفیت خازنی بالا، استفاده کردند. طبق نتایج آن‌ها، آندایز فویل Ti به مدت $97/87$ دقیقه تحت ولتاژ $39/11 \text{ V}$ و $4\% \text{ NH}_4\text{F}$ ، دارای بیشترین ظرفیت خازنی ویژه به مقدار $145/6 \mu\text{F cm}^{-2}$ بود [۵]. با این وجود مطالعات زیادی برای ارتقا مورفولوژی سطح و هندسه‌ی TNT ها صورت گرفته است [۵ و ۱۶ و ۱۷]. کماکان ظرفیت خازنی TNT ها در مقایسه با سوپر خازن‌های تبدیلی پایه فلزی، اندک است. در واقع اصلاح TNT ها توسط روش‌های حرارتی و الکتروشیمیایی و دوپ فلزی و غیر فلزی، موجب بهبود ظرفیت خازنی TNT ها به عنوان الکترواد سوپر خازن‌ها می‌شود.

۴- اصلاح نانولوله‌ی TiO_2

علاوه بر ساختار مورفولوژیکی عالی و سطح، TNT های سنتز شده دارای ظرفیت بسیار اندک هستند. اکثراً ظرفیت ویژه‌ی TNT

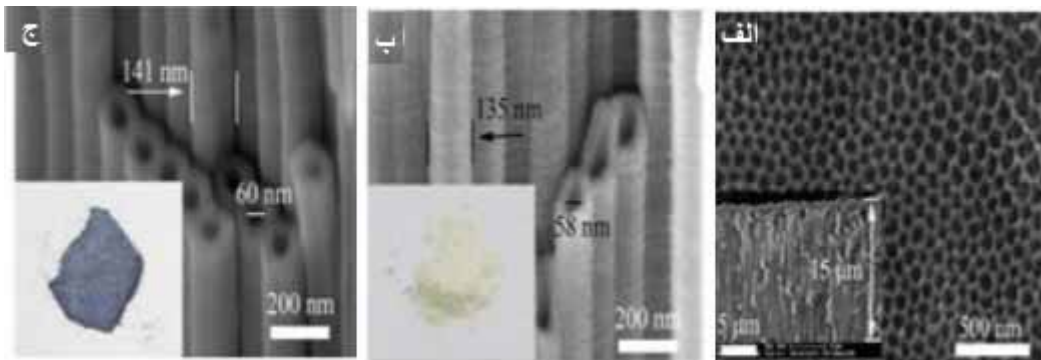
^۱ Box-Behnken

کمتر از 1 mF cm^{-2} گزارش شده است که از این جهت فقط به خازن‌های دولایه الکتریکی متداول شباهت دارد [۱۸] که این به رسانایی ضعیف TNT مربوط می‌شود [۱۰]. به همین دلیل، اصلاح سطح TNT به روش‌های الکتروشیمیایی و حرارتی، توسط افزودن مواد فعال مانند اکسید فلزات، نیترات، سولفیدها و یا پلیمرهای رسانا، به منظور بهبود رسانایی و ظرفیت، صورت می‌گیرد.

۴-۱- روش‌های اصلاح الکتروشیمیایی-حرارتی

اصلاح TNT به روش الکتروشیمیایی به علت آسانی، سهولت اجرا و هزینه‌ی پایین به طور گسترده استفاده می‌شود. اصلاح اولیه به این روش توسط ماکاک همکاران در سال ۲۰۰۷ انجام شد. کار آن‌ها دوپ احیایی برای تشکیل لایه‌ای با رسانایی بالا در قسمت تحتانی لایه‌های TNT بود که در دمای محیط و با آماده سازی ساده صورت گرفت. در فرآیند دوپ، Ti^{4+} به Ti^{3+} احیا می‌شود که به عنوان قسمت دهنده عمل کرده و یک لایه مانع رسانا تشکیل می‌دهد. آن‌ها اعلام کردند که تنها $1\% \text{ Ti}^{4+}$ در لایه‌های TNT می‌تواند به Ti^{3+} احیا شود و تاثیر دوپ احیایی در تغییر رنگ فیلم از خاکستری روشن به سیاه دیده می‌شود. مطالعات بعدی توسط ژو و همکاران در سال ۲۰۱۳ صورت گرفت که فرآیند احیای کاتدی برای شناسایی جاهای خالی اکسیژن در TNT بود [۱۸]. علاوه بر جاهای خالی اکسیژن، یک گروه هیدروکسیل بر روی سطح TNT تشکیل می‌شود که منجر به بهبود رفتار الکتروشیمیایی الکتروود اصلاح شده می‌شود. به گزارش آن‌ها ظرفیت ویژه TNT اصلاح شده تا ۱۳ مرتبه بزرگتر از اصلاح نشده‌ی آن است. وو و همکارانش روش دوپ الکتروشیمیایی را گسترش دادند تا عملکرد ظرفیتی الکتروود TNT را بهبود ببخشند. هیدروژن زدایی انجام گرفته توسط آن‌ها، با روش‌های مطالعه شده توسط ماکاک و ژو مطابق بود و تایید کرد که جای خالی اکسیژن متعلق به احیای Ti^{4+} و یون‌های هیدروژن بین نشین می‌باشد. وو و همکاران همچنین اعلام کردند که TNT اصلاح شده، افزایش اندکی در ابعاد لوله نشان می‌دهد اما مورفولوژی لوله را به طور چشمگیری تغییر نمی‌دهد که اثبات می‌کند اصلاح به روش الکتروشیمیایی آسیبی به ساختار وارد نمی‌کند. تغییر رنگ TNT با تغییر رنگ الکتروود از خاکستری روشن (TNT) به سیاه (TNT اصلاح شده) در شکل ۴ آورده شده است.

عملکرد ظرفیتی الکتروود TNT اصلاح شده، نتایج خوبی را نشان می‌دهد به طوری که ظرفیت خازنی به $20/80 \text{ mF cm}^{-2}$ و $9/07 \text{ mF cm}^{-2}$ در $4/00 \text{ mA cm}^{-2}$ و $0/50 \text{ mA cm}^{-2}$ و در ۲ مولار LiSO_4 می‌رسد. وو و همکاران همچنین در مورد سوپر خازن خود تشکیل شده^۱ که بر پایه‌ی الکتروود TNT اصلاح شده بود، اعلام کردند که ظرفیت آن به $5/42 \text{ mF cm}^{-2}$ با چگالی توان $27/66 \text{ mW cm}^{-2}$ در چگالی جریان $0/050 \text{ mA cm}^{-2}$ می‌رسد. این دستگاه خود تشکیل شده قابلیت نرخ ظرفیتی چشمگیری را از خود نشان می‌دهد به طوری که ۶۰٪ ظرفیت ویژه را زمانی که چگالی جریان از 4 mA cm^{-2} تا $0/05$ افزایش می‌یابد، نگه می‌دارد.

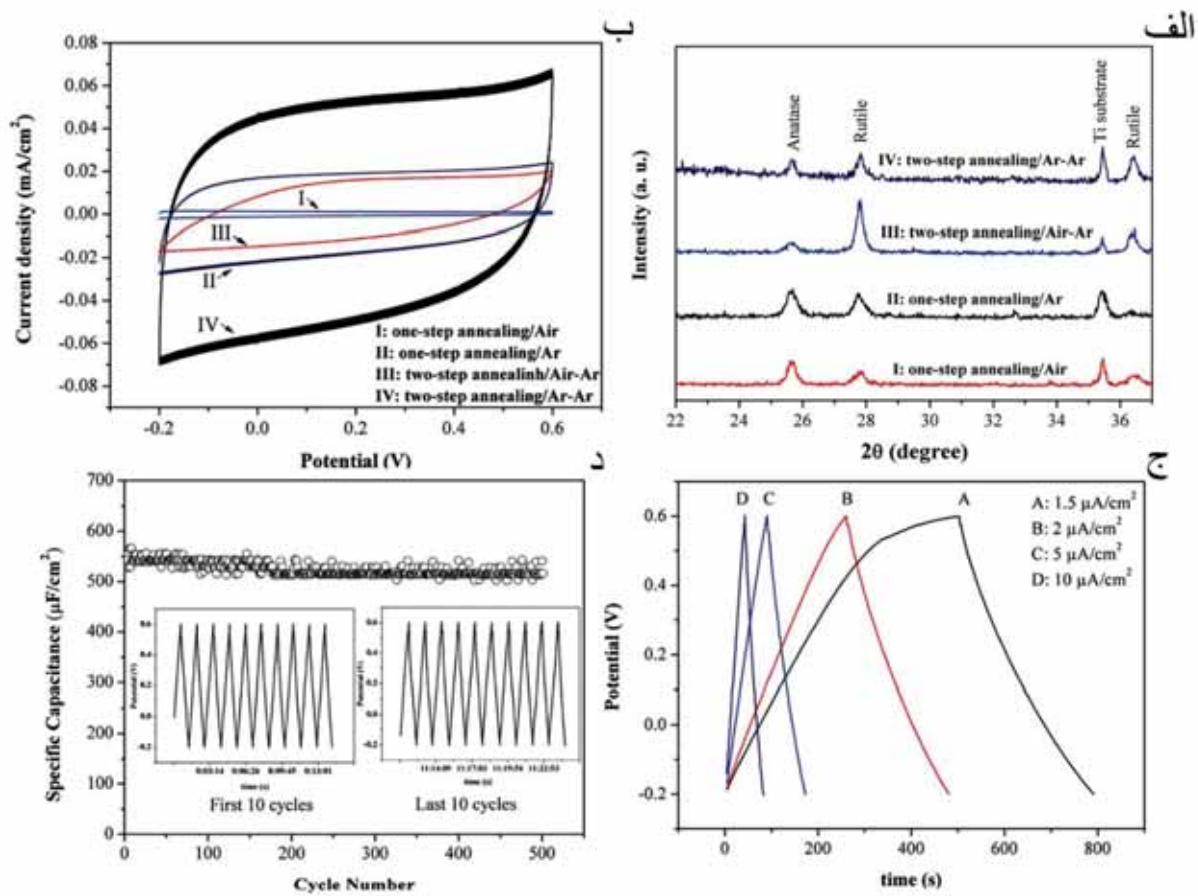


شکل ۴- FESEM (الف) نمای بالای TNT (ب) مقطع عرضی TNT و (ج) مقطع عرضی TNT اصلاح شده. الحاقی‌ها در شکل (الف) طول (ب) رنگ پودر TNT و (ج) رنگ پودر TNT اصلاح شده را نشان می‌دهد [۱۰].

علاوه بر روش الکتروشیمیایی، روش حرارتی نیز به عنوان یکی از روش‌های اصلاح TNT برای بهبود عملکرد الکتروشیمیایی محسوب می‌شود. سالاری و دوستان به احیای Ti^{4+} به Ti^{3+} پرداختند که با تهی سازی ساختار اکسیژن، استحاله آناتاز به روتایل ترغیب شده و منجر به بهبود عملکرد الکتروشیمیایی الکتروود می‌شود. [۱۵]. جاهای خالی اکسیژن ایجاد شده درون ساختار TNT

¹ Self assembled

منجر به بهبود ظرفیت TNT می‌شود. سالاری و همکاران هم چنان گزارش کردند که بهبود ظرفیت ویژه در طول روش حرارتی، مربوط به مکان‌های والانس است که به صورت جزئی کاهش یافته‌اند و بر روی سطح ایجاد شده‌اند و هم چنین به عیوب دیگر می‌شود که در حین عملیات حرارتی وجود دارند، مربوط می‌شود [۱۸]. ولتامتری چرخه‌ای TNT اصلاح شده در شکل ۵ (ب)، منحنی تقریباً مستطیل شکل را نشان می‌دهد که دارای مناطق بین نشین بزرگتری نسبت به TNT اصلاح نشده است. ظرفیت ویژه TNT اصلاح شده $911 \mu\text{F cm}^{-2}$ گزارش شده است در حالی که این عدد برای TNT اصلاح نشده $30 \mu\text{F cm}^{-2}$ در 1 M KCl با نرخ 1 mV s^{-1} گزارش شده است. یک رابطه‌ی خطی بین ولتاژ و زمان شارژ و تخلیه در چگالی جریان بالا در شکل ۵ج دیده می‌شود که از خازن دو لایه الکترونی القا نشده انتظار می‌رود. اما منحنی اندکی غیر خطی، در چگالی جریان زیاد مشاهده می‌شود که نشانگر واکنش در طول فرآیند شارژینگ می‌باشد. سالاری و دوستان اعلام کردند که این امر ممکن است بخاطر جاهای خالی اکسیژن در حین عملیات حرارتی باشد. TNT اصلاح شده هم چنین پایداری چرخه‌ای مناسبی از خود نشان می‌دهد بطوری که پایداری ظرفیت خوب با 98% نگهداری ظرفیت حتی بعد از 500 چرخه در آن مشاهده می‌شود (شکل ۵د) [۱۵]

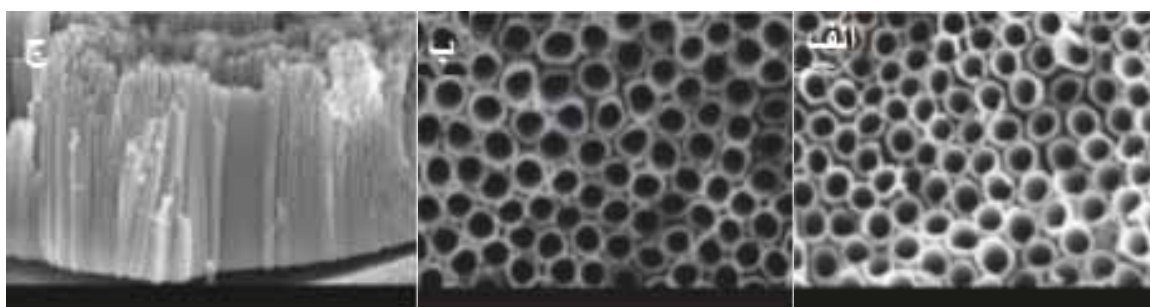


شکل ۵- الگوی XRD (الف) TNT اصلاح شده و TNT اصلاح نشده (ب) ولتامتری چرخه‌ای همه نمونه‌ها در 1 M KCl (ج) طرح گالوانواستاتیک شارژ و تخلیه TNT اصلاح شده در چگالی جریان‌های مختلف و (د) پروفایل پایداری چرخه‌ای TNT اصلاح شده [۱۵]

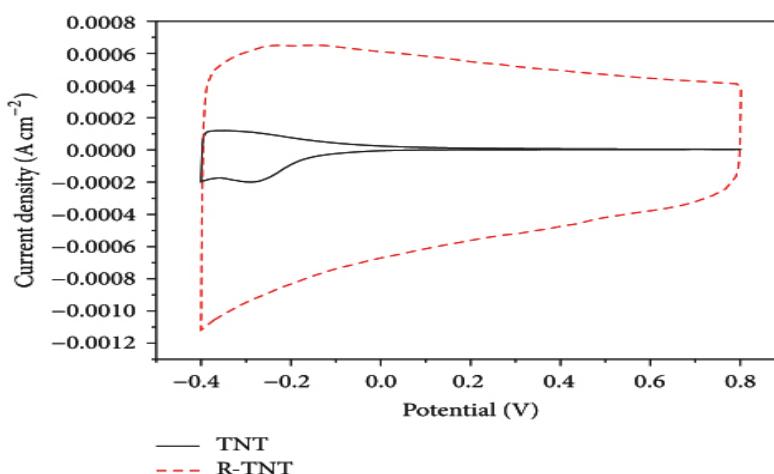
نورول و همکاران [۱۹] هم چنین به اصلاح TiO_2 به روش احیای الکتروشیمیایی پرداختند. آن‌ها ابتدا TNT را در سلول الکتروشیمیایی دو الکتروده با غلظت گرافیت بالا به عنوان کاتد و فویل تیتانیومی به عنوان آند در الکترولیت پایه اتیلن گلیکون، سنتز کردند. در مرحله بعدی TNT آندایز شده به عنوان کاتد و گرافیت غلظت بالا، به عنوان آند در همان سلول الکتروشیمیایی در الکترولیت حاوی $0.5 \text{ mol Na}_2\text{SO}_4$ میک، احیا الکتروشیمیایی انجام دادند. در شکل ۶ تصویر FESEM نانولوله‌های احیا شده و نشده را نشان می‌دهد. ساینز هندسی نانولوله‌ها بعد احیا الکتروشیمیایی کاهش یافته اما ساختار نانولوله‌ها کم‌کم بدون تغییر می‌باشد. نانولوله‌ها دارای نظم بالا بوده و به صورت عمودی در یک ردیف قرار گرفته‌اند و منطقه‌ی بزرگی از زیرلایه تیتانیوم را

پوشش می‌دهند. تغییر رنگ TNT و R-TNT از خاکستری تیره به سیاه قابل مشاهده است که مربوط به حضور Ti^{3+} و افزایش چگالی عیوب در حین احیا می‌باشد.

در شکل ۷ ولتاگرام چرخه‌ای TNT و R-TNT در پیکربندی ۳ الکترودی را با نرخ اسکن 200 mVs^{-1} نشان داده است. برخلاف نمونه‌های TNT، R-TNT منحنی‌های مشخصه‌ی خازنی آشکاری بدون پیک را از خود نشان می‌دهند که به واکنش احیا مربوط می‌شود. افزایش چشمگیر در ولتاگرام چرخه‌ای برای نمونه‌ی R-TNT، تقریباً ۳ مرتبه بزرگتر از نمونه‌ی TNT است که منجر به بهبود عملکرد خازنی در آن می‌شود. هم‌چنین شکل تقریباً مستطیلی نمودار ولتاگرام چرخه‌ای نمونه‌ی R-TNT، برای یک خازن ایده آل، قابل انتظار است. داده‌ها نشان می‌دهند که نمونه‌ی R-TNT، به ظرفیت ویژه‌ی $2/81 \text{ mFcm}^{-2}$ با نرخ اسکن 200 mVs^{-1} دست یافته است که ۱۸ مرتبه بزرگتر از نمونه‌ی اصلاح نشده است ($0/16 \text{ mFcm}^{-2}$). این ارتقا به بهبود رسانایی الکتریکی نمونه‌ها مربوط می‌شود که منجر به افزایش چگالی بار می‌شود.



شکل ۶- تصویر FESEM با آرایه‌های منظم (الف) TNT (ب) R-TNT و (ج) سطح جانبی TNT [۱۹]



شکل ۷- ولتاگرام چرخه‌ای TNT و R-TNT، در نرخ اسکن 200 mV [۱۹]

۵- نتیجه‌گیری

- TNT ها به علت ولتاژ کاری بالا، رفتار شبه خازنی خوب و رسانایی الکتریکی بالا، از بهترین‌ها برای مواد شبه خازنی، محسوب می‌شود. هم‌چنین زیست سازگاری، سمی نبودن برای محیط و انسان، پایداری شیمیایی بالا و فراوانی زیاد، موجب کاربرد زیاد این ماده به عنوان الکتروود سوپر خازن‌ها شده است.
- اکسیدان آندی نسبت به سایر روش‌های سنتز TNT، کنترل بهتری را بر روی مورفولوژی و ابعاد نانولوله‌های دارد. علی‌رغم ساختار مورفولوژیکی عالی و سطح، TNT های سنتز شده، دارای ظرفیت بسیار اندک هستند. اکثراً ظرفیت ویژه‌ی آن‌ها کمتر از 1 mF cm^{-2} گزارش شده است که از این جهت کاربردشان محدود می‌گردد.
- در اصلاح TNT به روش الکتروشیمیایی، با وجود افزایش اندک ابعاد نانولوله‌ها، تغییری در ساختار رخ نمی‌دهد ولی ظرفیت ویژه در برخی مواقع تا ۱۳ مرتبه افزایش می‌یابد.

- در اصلاح حرارتی نیز افزایش چشمگیری در منحنی ولتاگرام چرخه‌ای دیده می‌شود و گزارش شده که ظرفیت ویژه تا $911 \mu\text{F cm}^{-2}$ افزایش می‌یابد.

مراجع

- [1] Tyagi A, Singh N, Sharma Y, Gupta RK. Improved supercapacitive performance in electrospun TiO₂ nanofibers through Ta-doping for electrochemical capacitor applications. *Catalysis Today*. 2018 Jun 18.
- [2] Samsudin, N. A., Zainal, Z., Lim, H. N., Sulaiman, Y., & Chang, S. K. (2016). Titania nanotubes synthesised via the electrochemical anodisation method: Synthesis and supercapacitor applications. *Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews*, (2016) 2(1): 107-128
- [3] Long, J. W., Bélanger, D., Brousse, T., Sugimoto, W., Sassini, M. B., & Crosnier, O. (2011). Asymmetric electrochemical capacitors—Stretching the limits of aqueous electrolytes. *Mrs Bulletin*, 36(7), 513-522.
- [4] Li, C., Wang, Z., Li, S., Cheng, J., Zhang, Y., Zhou, J., ... & Wang, B. (2018). Interfacial Engineered Polyaniline/Sulfur-Doped TiO₂ Nanotube Arrays for Ultralong Cycle Lifetime Fiber-Shaped, Solid-State Supercapacitors. *ACS applied materials & interfaces*, 10(21), 18390-18399.
- [5] Endut, Z., Hamdi, M., & Basirun, W. J. (2013). Optimization and functionalization of anodized titania nanotubes for redox supercapacitor. *Thin Solid Films*, 549, 306-312.
- [6] Endut, Z., Hamdi, M., & Basirun, W. J. (2013). Supercapacitance of bamboo-type anodic titania nanotube arrays. *Surface and Coatings Technology*, 215, 75-78.
- [7] Wu, H., Xu, C., Xu, J., Lu, L., Fan, Z., Chen, X., ... & Li, D. (2013). Enhanced supercapacitance in anodic TiO₂ nanotube films by hydrogen plasma treatment. *Nanotechnology*, 24(45), 455401.
- [8] Salari, M., Aboutalebi, S. H., Chidembo, A. T., Konstantinov, K., & Liu, H. K. (2014). Surface engineering of self-assembled TiO₂ nanotube arrays: A practical route towards energy storage applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 586, 197-201.
- [9] Salari, M., Aboutalebi, S. H., Konstantinov, K., & Liu, H. K. (2011). A highly ordered titania nanotube array as a supercapacitor electrode. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13(11), 5038-5041.
- [10] Wu, H., Li, D., Zhu, X., Yang, C., Liu, D., Chen, X., ... & Lu, L. (2014). High-performance and renewable supercapacitors based on TiO₂ nanotube array electrodes treated by an electrochemical doping approach. *Electrochimica Acta*, 116, 129-136.
- [11] Kuang, Q., Lin, Z. W., Lian, W., Jiang, Z. Y., Xie, Z. X., Huang, R. B., & Zheng, L. S. (2007). Syntheses of rare-earth metal oxide nanotubes by the sol-gel method assisted with porous anodic aluminum oxide templates. *Journal of Solid State Chemistry*, 180(4), 1236-1242.
- [12] Zlamal, M., Macak, J. M., Schmuki, P., & Krýsa, J. (2007). Electrochemically assisted photocatalysis on self-organized TiO₂ nanotubes. *Electrochemistry Communications*, 9(12), 2822-2826.
- [13] Yu, Z., Tetard, L., Zhai, L., & Thomas, J. (2015). Supercapacitor electrode materials: nanostructures from 0 to 3 dimensions. *Energy & Environmental Science*, 8(3), 702-730.
- [14] Conway, B. E., & Pell, W. G. (2003). Double-layer and pseudocapacitance types of electrochemical capacitors and their applications to the development of hybrid devices. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 7(9), 637-644.
- [15] Salari, M., Aboutalebi, S. H., Chidembo, A. T., Nevirkovets, I. P., Konstantinov, K., & Liu, H. K. (2012). Enhancement of the electrochemical capacitance of TiO₂ nanotube arrays through controlled phase transformation of anatase to rutile. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 14(14), 4770-4779.
- [16] Raj, C. C., Sundheep, R., & Prasanth, R. (2015). Enhancement of electrochemical capacitance by tailoring the geometry of TiO₂ nanotube electrodes. *Electrochimica Acta*, 176, 1214-1220.
- [17] Xiao, P., Liu, D., Garcia, B. B., Sepehri, S., Zhang, Y., & Cao, G. (2008). Electrochemical and photoelectrical properties of titania nanotube arrays annealed in different gases. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 134(2), 367-372.
- [18] Salari, M., Konstantinov, K., & Liu, H. K. (2011). Enhancement of the capacitance in TiO₂ nanotubes through controlled introduction of oxygen vacancies. *Journal of Materials Chemistry*, 21(13), 5128-5133.
- [19] Samsudin, N. A., Zainal, Z., Lim, H. N., Sulaiman, Y., Chang, S. K., Lim, Y. C., ... & Nadrah, W. (2018). Enhancement of Capacitive Performance in Titania Nanotubes Modified by an Electrochemical Reduction Method. *Journal of Nanomaterials Volume 2018, Article ID 9509126*, 9 page

بررسی ویژگی‌های قالب‌های سرامیکی پره‌های توربین تک کریستال و پلی کریستال در ریخته‌گری دقیق

امیر حسین واحدی فر^۱، علی رضا میرک^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

^۲ عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر



مهندس امیر حسین واحدی فر،
نویسنده‌ی اول مقاله، دانشگاه
آزاد اسلامی واحد علوم و
تحقیقات

amir.vahedifar@yahoo.com

چکیده: پره‌های توربین بر اساس ساختار کریستالوگرافی و کنترل ریزساختار به ۳ دسته تقسیم می‌شوند و در واقع ۳ روش برای کنترل رشد دانه‌ها در ساخت پره‌های توربین داریم. بر اساس این ۳ روش موجود خواص قالب‌ها نیز متفاوت خواهد بود. در این مقاله به بررسی ویژگی‌های مورد نیاز قالب‌های سرامیکی پوسته‌ای مورد استفاده در ریخته‌گری دقیق پره‌های توربین پلی کریستال و انجماد جهت دار تک کریستال، و بیان تفاوت‌های موجود، پرداخته‌ایم. در بررسی‌های به عمل آمده، پره‌های توربین انجماد جهت دار تک کریستال در دمای کاری بالاتری استفاده می‌شوند و در نتیجه ریخته‌گری آن‌ها در دمای نزدیک به ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و در مدت زمان نگهداری حدود ۲ ساعت انجام می‌شود که نسبت به گرید پلی کریستال دمای بالاتری محسوب می‌شود، در نتیجه خواص قالب نیز بایستی متناسب با این شرایط کاری باشد. کلمات کلیدی: قالب سرامیکی پوسته‌ای، ریخته‌گری دقیق، پره‌های توربین انجماد جهت دار، پره‌های پلی کریستال.

۱- مقدمه

پره‌های توربین از اجزا مجموعه توربین‌های گازی هستند که با هندسه و ساختار و ویژگی‌های مکانیکی خاص و با تلورانس ابعادی دقیق ساخته می‌شوند. پره‌های توربین تک کریستال در محیط‌های دما بالا و فشار بالا و پرتنش استفاده می‌شوند پره‌های توربین با روش ریخته‌گری مذاب آلیاژ در قالب سرامیکی پوسته‌ای تولید می‌شوند و قالب پوسته‌ای تک کریستال تحت دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد. بنابراین، کیفیت قالب سرامیکی مورد مصرف در ریخته‌گری جهت‌دار، به صورت مستقیم بر کارایی، دقت ابعادی، درصد تولید محصول و هزینه تولید قطعه سوپرآلیاژ تک کریستال تاثیرگذار است [۱]. آقای بیلی^۱ در سال ۱۹۹۵ ویژگی‌های مورد نیاز قالب‌های سرامیکی مورد استفاده در ساخت پره‌های پلی کریستال را عنوان کرد [۲]. در سال ۲۰۰۳ آقای جونز و همکارانش^۲ در تحقیقات خود، روشی برای تولید قالب‌های سرامیکی با افزودن فیبر معرفی نمودند و در نهایت با قالب‌های ساخته شده با افزودنی پلیمری مقایسه کردند که، تحقیقات اولیه نشان دادند، افزودن فیبر از نظر زمان، اقتصادی و وزن قالب ایجاد شده برای ساختن قالب استاندارد ریخته‌گری دقیق بسیار مفید است [۳]. وو و همکارانش^۳ در سال ۲۰۱۳ یک روش تولید داخلی برای تولید قالب‌های سرامیکی برای تولید پره‌های توربین پیچیده ایجاد کرده‌اند که تلفیقی از تکنولوژی استریولیتوگرافی و ریخته‌گری ژل^۴ است [۴]. در تحقیقات سال ۲۰۱۴ آقای دانگ^۵ و در سال ۲۰۱۵ آقای کوبیاک^۶ به صورت اختصاصی ویژگی‌های قالب‌های مورد استفاده در ریخته‌گری دقیق پره‌های توربین انجماد جهت دار گزارش شد [۵و۶]. در نهایت در سال ۲۰۱۸

¹ P.R.Beeley

² S. Jons

³ Wu et al.

⁴ Stereolithography- gelcasting

⁵ H. Dong

⁶ K. Kubiak

آقای زلینگ ژو^۱ و همکارانش رفتار مکانیکی و ریزساختار دما بالای قالب‌های سرامیکی پایه آلومینیایی برای ریخته‌گری جهت‌دار بررسی شد. آنها گزارش کردند که عملیات حرارتی باعث پر شدن حفرات توسط فاز شیشه‌ای سیلیکاتی می‌شود که باعث افزایش استحکام فشاری قالب‌ها در دمای اتاق می‌شود. [۷]. در این مقاله ضمن معرفی ویژگی‌های قالب‌های سرامیکی در ساخت پره‌های توربین با گرید پلی کریستال و انجماد جهت دار، خواص حرارتی قالب‌های گرید انجماد جهت دار تحلیل شده است.

۲- ویژگی‌های قالب سرامیکی پوسته‌ای پره‌های پلی کریستال و انجماد جهت دار

خواص اصلی قالب‌های ریخته‌گری دقیق پره‌های توربین، چه در گرید پلی کریستال و چه در گرید انجماد جهت دار، عمدتاً یکسان هستند. علت این است که این قالب‌ها از مواد اولیه مصرفی و روش ساخت یکسانی بهره می‌برند، که تعیین ترکیب این قالب‌ها وابسته به نوع آلیاژ و دمای کاری مورد استفاده می‌باشد. به عبارت دیگر، پوسته سرامیکی به دور مدل مومی، شامل چند لایه یا چند مرحله‌ای پوشش داده می‌شود. معمولاً این فرآیند بین ۵ تا ۱۵ مرحله و بر اساس نیاز قالب و استحکام مدنظر می‌باشد. که این خود نمونه‌ای از تفاوت‌های این قالب‌هاست [۲]. آقای جونز و همکارانش در تحقیقات خود در گرید پلی کریستال با ۴ لایه پوشش و قطر پوسته ۴/۶ میلی متر استفاده کرده‌اند [۳]. این در حالی است که آقای زلینگ ژو در سال ۲۰۱۸ برای گرید انجماد جهت دار از قالب ۷ لایه‌ای با ضخامت ۸/۸ میلی‌متر استفاده نموده است. البته ضخامت قالب‌ها بسته به نوع آلیاژ مصرفی نیز متغیر هستند. اما در گرید انجماد جهت دار ضخامت لایه‌ها بیشتر است [۷].

در مرحله بعدی، هر پوشش با فرورودن مدل مومی درون دوغاب سرامیکی تهیه می‌شود. نمونه پوشش داده شده برای مدت کوتاهی خشک می‌شود و یک پوشش^۲ عاری از شیارها و مسیرهای^۳ سطحی ایجاد می‌شود. قبل از آنکه لایه پوشش داده شده خشک شود، بر روی سطح پوشش داده شده با ذرات درشت سرامیکی به اصطلاح استوک پوشیده می‌شود، این ذرات پاشیده شده به لایه زیرین سرامیکی که هنوز خشک نشده اند، می‌چسبند، با تکرار این کار، ضخامت قالب پوسته‌ای سرامیکی با تعداد مراحل کمتر، افزایش می‌یابد. ترکیب دوغاب و انتخاب استوک در قالب‌های گرید پلی کریستال و تک کریستال متفاوت است. در جدول ۱ مقایسه‌ای از مواد مصرفی در لایه‌های دو گرید، نشان شده است. همانطور که مشخص است، این تفاوت‌ها نه تنها بین دو گرید فوق، بلکه برای ساخت پره‌ها در یک گرید مشابه نیز تفاوت دارد.

جدول ۱- مقایسه ترکیبات مورد استفاده در ساخت قالب‌های سرامیکی پوسته‌ای [۳ و ۸]

قالب پلی کریستال	قالب انجماد جهت دار ۱	قالب انجماد جهت دار ۲
پایه آبی-سیلیکاتی	سل سیلیس کلونیدی	سیلیکای کلونیدی
سیلیکات زیرکونیم-مش ۲۰۰	سیلیکات زیرکونیم-مش ۳۲۵	فیوزد آلومینا-مش ۲۰۰
سیلیکات آلومینا-مش ۱۰۰	فیوزد آلومینا-مش ۸۰	فیوزد آلومینا-مش ۸۰
پایه آبی-سیلیکاتی	بایندر شامل فیوزد سیلیکا- آلومیناسیلیکات- زیرکون	سیلیکای کلونیدی
آلومینا سیلیکات-مش ۲۰۰	سیلیکات زیرکونیم-مش ۳۲۵	فیوزد آلومینا-مش ۳۲۵
سیلیکات آلومینا-مش ۱۰۰	فیوزد آلومینا-مش ۴۸	فیوزد مولایت-مش ۸۰

مواد سرامیکی با تنوع و گستردگی زیادی مصرف می‌شوند، از جمله پودر سیلیکا، آلومینا سیلیکات، آلومینا و سیلیکات زیرکونیم. در واقع تفاوت این قالب‌ها به تفاوت در روش تولید پره‌های توربین بر می‌گردد. به عنوان مثال؛ مشخصات گرمایی قالب پوسته‌ای می‌تواند بر انجماد آلیاژ اثر بگذارد، و استحکام قالب بر سایر مشخصات ریخته‌گری و عیوب ریخته‌گری تأثیرگذار باشد. عدم

¹ Zilin Xu
² Covering
³ Drips and runs

آگاهی و درک صحیح از اصول پوسته گذاری و همچنین مواد خام مورد استفاده از در ساخت پوسته، باعث عدم کنترل مناسب بر فرآیند می‌شود. بنابراین باعث می‌شود که خواص پوسته تهیه شده در نمونه‌های مختلف، تکرار پذیر نبوده و دائماً تغییر کند. ویژگی‌های مورد نیاز قالب‌های سرامیکی پوسته‌ای به صورت زیر می‌باشد:

- ۱) استحکام خام مناسب، به‌منظور سهولت خارج کردن موم بدون شکست قالب.
 - ۲) استحکام مناسب بعد از پخت، جهت تحمل وزن و نیروی آلیاژ ریخته‌گری.
 - ۳) به حد کافی ضعیف^۱ باشد تا از پارگی گرم آلیاژهای حساس جلوگیری شود.
 - ۴) مقاومت به شوک حرارتی بالا جهت عدم شکست در زمان ریخته‌گری آلیاژ مذاب.
 - ۵) پایداری شیمیایی بالا.
 - ۶) نفوذ پذیری و واکنش کم با مذاب آلیاژ.
 - ۷) نفوذپذیری گازی و ضریب انتقال حرارت مطلوب جهت کنترل روند خنک شدن و انجماد.
 - ۸) ضریب انبساط حرارتی پایین، جهت کاهش تغییرات ابعادی در قالب و قطعه ریخته‌گری.
 - ۹) عدم جوانه زنی توسط سوپرآلیاژ بر روی سطح قالب سرامیکی (این ویژگی مختص قالب‌های تک کریستال است).
- قبلاً هم اشاره شد که به دلیل تنوع آلیاژهای ریخته‌گری، محصولات مدنظر، ابعاد و هندسه‌های مختلف، مواد مختلفی را می‌توان به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده قالب استفاده کرد و خواص مختلفی نیز از قالب مورد نظر می‌باشد [۳]. در ذیل سعی می‌شود خواص منحصر بفرد قالب‌های سرامیکی بررسی گردد.

۲-۱- واکنش بین قالب و مذاب

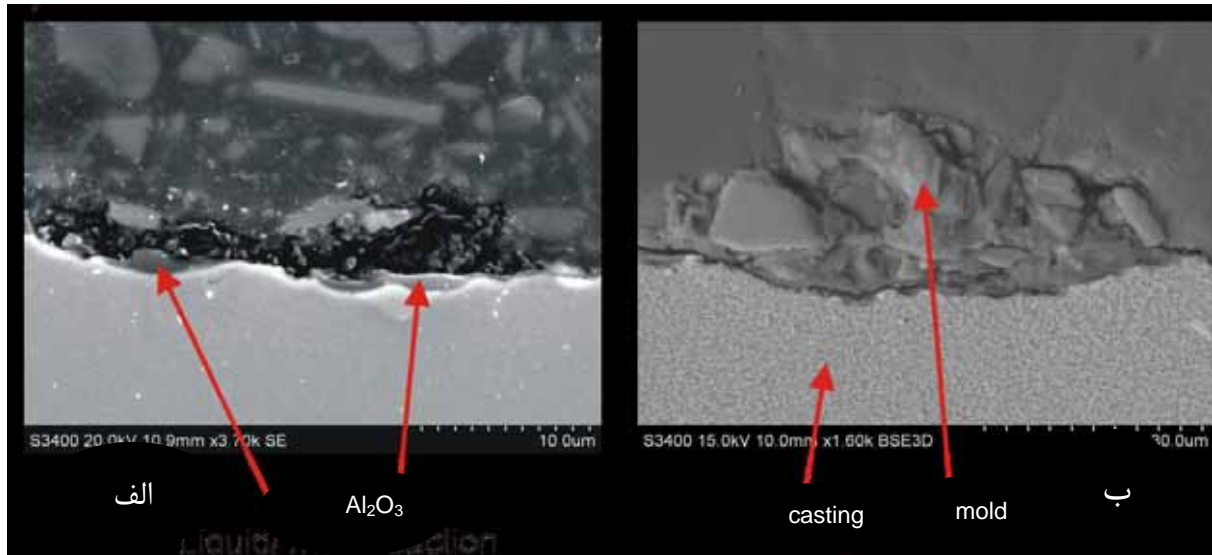
ناهمواری سطح قالب باعث ناهمواری سطح قطعه ریخته‌گری می‌شود، باید در این مواقع علاوه بر نفوذ ذرات استوکو، به خاصیت ترشوندگی بین سطح درونی قالب و مذاب آلیاژ توجه شود. ناهمواری سطحی که ناشی از نفوذ آلیاژ مذاب به حفرات قالب است، معمولاً زمانی رخ می‌دهد که ترشوندگی بین سطح قالب و مذاب آلیاژ بالا باشد. با افزایش دمای آلیاژ ریخته شده، میزان ترشوندگی افزایش می‌یابد، یعنی زاویه تماس کاهش می‌یابد [۲].

دمای کاری پره‌های انجماد جهت دار بالاتر از پلی کریستال است، در نتیجه احتمال نفوذ مذاب به درون حفرات قالب بیشتر است. بنابراین لایه اول اصلی‌ترین لایه قالب است. به دلیل این که درونی‌ترین لایه و اولین لایه با مدل و با مذاب آلیاژ فلزی در تماس خواهد بود. این لایه با از نظر دمایی پایدار باشد و با مذاب نیز واکنش ندهد. اصلی‌ترین مشخصه لایه اول ضخامت آن است. این لایه باید به قدری ضخیم باشد تا دانه‌های استوکو قادر نباشند آن را تخریب کنند. اگر لایه اول شکسته شود و ذرات استوکو وارد مذاب شوند، در اثر انجماد درون آلیاژ خواهند بود و ناخالصی غیرفلزی تشکیل می‌شود. لایه خیلی ضخیم نیز، باعث ناخالص شدن^۲ مذاب آلیاژی شوند [۵]. بحث دیگر در این موضوع، عدم جوانه زنی مذاب بر روی لایه اول است که این مطلب نباید در پره‌های انجماد جهت دار پره‌های تک کریستال رخ دهد. در صورتی که در پره‌های پلی کریستال مشکلی ایجاد نمی‌کند [۶]. در بررسی‌های به عمل آمده توسط آقای سلیکا^۳، واکنش بین قالب و مذاب گزارش شده است (شکل ۱).

۱- بعد از ریختن مذاب آلیاژ، مذاب با لایه اصلی قالب در تماس است. در اثر واکنش بین آلومینیوم موجود در مذاب و سیلیکای موجود در قالب، آلومینا به صورت دندریتی از سطح قالب تشکیل می‌شود شکل ۱ الف. دندریت درون آلیاژ مذاب رشد می‌کند و در نهایت پس از جدایش از مذاب به سطح قالب چسبیده است. به عبارت دیگر در سطح قالب، جوانه زنی صورت گرفته است.

۲- جدا شدن لایه اکسید آلومینیوم از سطح قطعه (کاهش حجم قطعه)، باعث افزایش فاصله بین قطعه و قالب می‌شود، در نتیجه سطح قطعه مجدداً اکسید می‌شود و لایه اکسید مخلوط شامل عناصر نیکل، کروم، تیتانیوم و ... تشکیل می‌شود. لایه اکسید مخلوط رشد می‌کند، هرچند که حجم لایه اکسیدی کمتر از حجم فضای خالی است (شکل ۱ ب) [۹].

¹ weak
² Infiltration
³ D. Szeliga



شکل ۱- واکنش بین قالب و مذاب ریخته گری شده. الف) تشکیل یک لایه آلومینا در اثر واکنش بین سیلیکا از قالب سرامیکی و آلومینیوم موجود در مذاب. ب) تشکیل لایه اکسیدی در سطح تماس قطعه و قالب [۹].

۲-۲- زبری سطح

زبری سطحی قالب بر روی کیفیت سطح قطعه ریخته‌گری تأثیر گذار است و کیفیت سطحی قطعه ریخته‌گری شده اساساً وابسته به کیفیت سطحی قالب سرامیکی و همچنین آسیب‌های وارد شده به قطعه در زمان خارج کردن قطعه از قالب و ... است. به علاوه، سطح الگوی مومی نیز بر کیفیت سطحی قالب و قطعه ریخته‌گری تأثیر گذار است [۱۰].

طبق بررسی‌های به عمل آمده توسط آقای دفنگ لیا^۱ و همکارانش بر روی قالب‌های پلی کریستال، با استفاده از روش فوم فداشونده و پوشش ارتقا دهنده کیفیت سطحی در ریخته‌گری دقیق، بر روی قالب شامل ۳ لایه بررسی شده است. اولین لایه پوشش ایجاد شده در تماس مستقیم با آلیاژ مذاب است، در نتیجه دوغاب این پوشش تأثیر زیادی بر کیفیت سطحی قطعه خواهد داشت. برای بررسی اثر نوع بایندر بر کیفیت سطحی قالب و قطعه ریخته‌گری، لایه اولیه سرامیکی به ترتیب با بایندهای سیلیکات سدیم، سل سیلیکا و هیدرولیسات اتیل^۲ تهیه شده است [۱۰ و ۲].

انتخاب مواد و همچنین پارامترهای فرآیند هر دو بر کیفیت سطحی قطعه ریخته‌گری تأثیر گذار است. این پارامترها شامل: نوع بایندر، اندازه ذرات پرکننده و نسبت ذرات اضافه شده به دوغاب. در تحقیق مورد اشاره برای بررسی اثر اندازه ذرات فیلر استفاده شده بر زبری سطحی، از ذرات بوکسیت با مش بندی متفاوت برای ساخت دوغاب اولیه استفاده شده است [۵].

زبری سطحی قالب با افزایش اندازه عدد مش ذرات کاهش می‌یابد. با افزایش عدد مش ذرات تا ۲۰۰، ضخامت کاهش یافته و به ۲/۴ میکرومتر می‌رسد و سپس در این مقدار ثابت می‌ماند. به همین دلیل است که در قالب‌های انجماد جهت دار از ذرات با اندازه دانه ریزتر استفاده می‌کنیم (جدول ۱). زیرا کیفیت سطحی قالب برای ما بسیار اهمیت دارد و قالب ما نباید باعث ایجاد مراکز جوانه زنی شود، که این مسئله در قالب‌های مورد استفاده در گرید پلی کریستال مهم نمی‌باشد [۲].

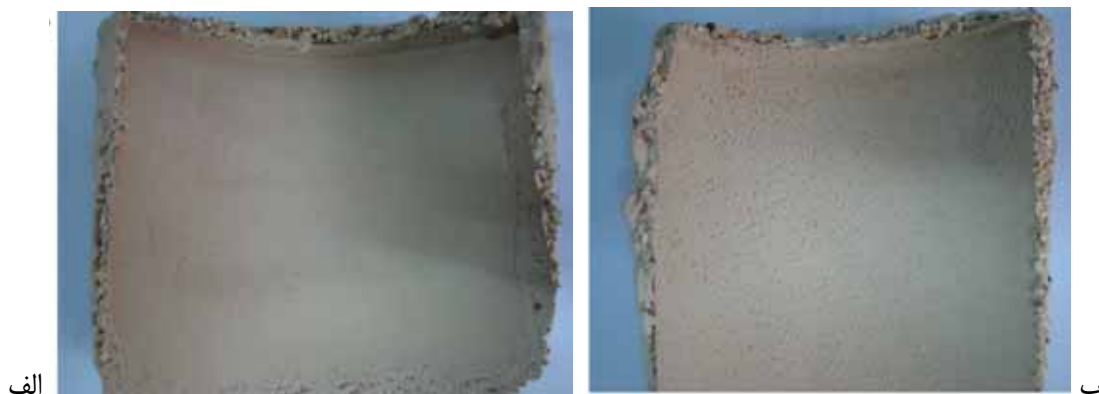
تعداد و اندازه حفرات انقباضی تعیین کننده زبری سطحی است. با درشت‌تر شدن دانه‌های فیلر، فاصله بین ذرات افزایش می‌یابد و این باعث بزرگ شدن حفرات انقباضی می‌شود [۱۰]. همانطور که در شکل ۲ ب مشخص است که کیفیت سطحی پوسته سرامیکی به دلیل حذف شدن ناهمواری‌ها و زبری‌ها به شدت افزایش یافته است. کیفیت سطحی با ایجاد پوشش فشرده و یکنواخت بهبود یافته است. پوشش نه تنها شیارهای فوم را بر طرف می‌کند بلکه از طرفی از ورود دوغاب به درون حفرات ریز فوم جلوگیری می‌کند. پوشش نیترو سلولز باعث می‌شود تا زبری سطحی فوم و قالب کاهش یابد.

در قالب‌های انجماد جهت دار به دلیل انجام عملیات حرارتی و پر شدن حفرات توسط سیلیکا این حفرات انقباضی کمتر است [۷].

¹ Defeng Liao

² hydrolysates of ethyl

کیفیت ریزساختار سطحی و همچنین زبری سطحی قالب و در نتیجه قطعه ریخته‌گری شده وابسته به استفاده از ذرات استوکوک و ذرات پودر مناسب که برای ساخت دوغاب پوشش اولیه استفاده شده است [۱۱].



شکل ۲- مورفولوژی سطح پوسته سرامیکی الف) الگوی فوم بدون پوشش در سطح پوشش‌ها ب) الگوی فوم پوشش داده شده با صاف کردن سطح [۱۰].

۲-۳- استحکام خام و پخت دما بالا

استحکام خام قالب‌ها عبارت است از عدم ترک خوردن قالب به هنگام خروج موم و یا در اثر حمل و نقل. فرآیند خروج موم به خارج کردن الگوی از جنس موم، از درون قالب پوسته‌ای سرامیکی گفته می‌شود که خود می‌تواند باعث ایجاد لایه‌لایه شدن شود [۱۱]. بایندهای مورد استفاده در قالب‌های پلی کریستال معمولاً شامل ۲۰-۳۰ نسبت وزنی سیلیکای آمورف می‌باشند که با افزودن یون سدیم پایدار می‌شوند. بایندهای کلئیدی، استحکام خام به قالب می‌دهند، به همین دلیل در زمان خروج موم و کار با قطعه، ترک خوردن بسیار محتمل است. برای رفع این مشکل از پلیمرهای مایع استفاده می‌شود. برای بایندهای آلکالین از لاتکس و برای بایندهای اسیدی از PVA استفاده می‌شود. افزودن پلیمر باعث افزایش استحکام حالت خام قالب شده و از طرفی در زمان ایجاد پوشش‌های بعدی، مانع از انتقال آب و رطوبت به پوشش زیرین می‌شود. استفاده از سدیم باعث تسریع بلورینه شدن می‌شود، در نتیجه قالبی مستحکم ایجاد می‌شود.

پوسته سرامیکی باید توانایی تحمل دماهای بسیار بالا را داشته باشد و اگر مواد دوغاب و استوکوک صحیح انتخاب شود، قابلیت استفاده برای آلیاژهای متنوع و روش‌های ریخته‌گری مختلف را خواهد داشت [۲]. سه دلیل وجود دارد که قالب قبل از کاربرد در ریخته‌گری پخته می‌شود:

۱- برای حذف شدن باقی‌مانده‌های مواد موم الگو و محلول‌های سرامیکی

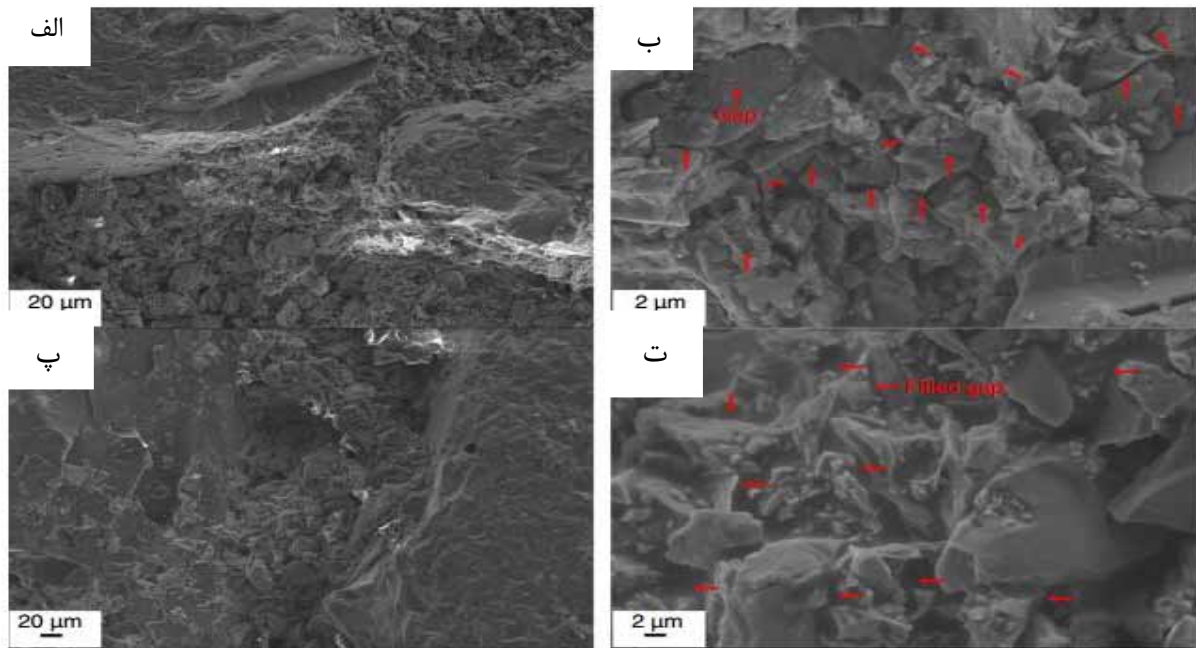
۲- زینتر شدن ساختار سرامیکی

۳- آماده کردن قالب برای ریخته‌گری در دماهای مشخص از پیش تعیین شده

برای رسیدن به حد خنثی بودن مناسب قالب و همچنین پایداری مناسب، پخت قالب‌های پلی کریستال در بازه دمایی ۵۰۰-۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و عملیات حرارتی آنها در بازه ۹۵۰-۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود. در صورتی که همین فرآیند مربوط به ریخته‌گری جهت‌دار، پخت در بازه دمایی ۹۵۰-۱۱۰۰ و عملیات حرارتی در دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شود. در این فرآیند، آلیاژ مذاب باید برای ۲ ساعت به صورت مذاب باقی بماند درحالی‌که انجماد پیش روی می‌کند، دمای قالب باید بالاتر از دمای ذوب آلیاژ مصرفی باشد. سوپر آلیاژهای تک کریستال در بازه دمایی ۱۵۰۰-۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شوند. اما قالب‌های ساخته شده با سیلیکا در گرید پلی کریستال محدود به بیشینه دمای ۱۵۵۰ درجه سانتی‌گراد است، زیرا دمای ذوب سیلیکا نیز در همین حدود است [۲].

تحقیقات نشان داده‌اند که استحکام پخت قالب‌های سرامیکی انجماد جهت دار می‌بایست از قالب‌های معمولی بالاتر باشند. در

بررسی‌های آقای زلینگ ژو^۱ بر روی قالب‌های انجماد جهت دار، همانطور که در شکل ۳ ب مشخص است، در نمونه زینتر شده، بین ذرات، فاصله^۲ زیادی مشاهده می‌شود، در حالی که در نمونه عملیات حرارتی شده این فاصله‌های کوچک پر شده و مجدداً زینتر شده و ذرات درشت‌تر تشکیل شده است (شکل ۳ ت). ترکیب موجود در فاصله‌های موجود غالباً کریستوبالیت بتا است که در دمای اتاق به کریستوبالیت آلفا تبدیل می‌شود. در اثر زینتر مجدد، استحکام قالب سرامیکی در دمای اتاق مجدداً افزایش می‌یابد [۱۰ و ۱۷].



شکل ۳- تصویر SEM ریزساختار نمونه‌های زینتر شده و عملیات حرارتی شده. الف و ب) ریزساختار زینتر شده در دو بزرگنمایی مختلف. پ و ت) ریزساختار نمونه عملیات حرارتی شده در دو بزرگنمایی [۱۷]

۲-۴- ضریب انبساط حرارتی

یکی از مشخصات برجسته در بررسی قالب‌ها، افزایش و کاهش حجم و یا یکنواخت نبودن ضریب انبساط حرارتی با افزایش دما برای هر قالبی است. برای مثال در برخی دماهای بالاتر از ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد، افزایش حجم یکنواخت است اما در ادامه با افزایش حرارت افت می‌کند. در واقع، ماده روند کاهش حجم را طی می‌کند. دمایی که در آن کاهش حجم داریم، نه تنها برای فرمول‌های مختلف مواد قالب بلکه با تغییر مواد مصرفی فیلر و استوکوک^۳ مورد استفاده در ساخت نمونه نیز تا حدی^۴ متفاوت خواهد بود [۹].

نکته دیگری که باید در تحلیل داده‌های انبساط حرارتی مورد توجه باشد، نرخ اعمال حرارت نتایج را تغییر خواهد داد. بدون درک صحیح از فعل‌وانفعالات اساسی شیمیایی و فیزیکی در ساختار سرامیکی مواد قالب در مرحله پخت قالب، تحلیل و توجیه مشخصات قالب سخت می‌باشد [۹].

فرآیند دیگری که به خوبی شناخته شده است و در ذرات سرامیکی در حال گرم شدن و سرد شدن رخ می‌دهد، استحاله فازی^۵ است، این تغییرات می‌تواند باعث دفرم شدن و انحنا دار شدن قالب پوسته‌ای شود. سیلیکا هم ممکن است به صورت فاز آمورف-شیشه‌ای^۶ باشد و هم به صورت بلوری در ساختارهای فازی و با چگالی‌های مختلف باشد. تمام این فرم‌های مختلف سیلیکا قابل

¹ Zilin Xu

² gap

³ different batches of filler or stucco

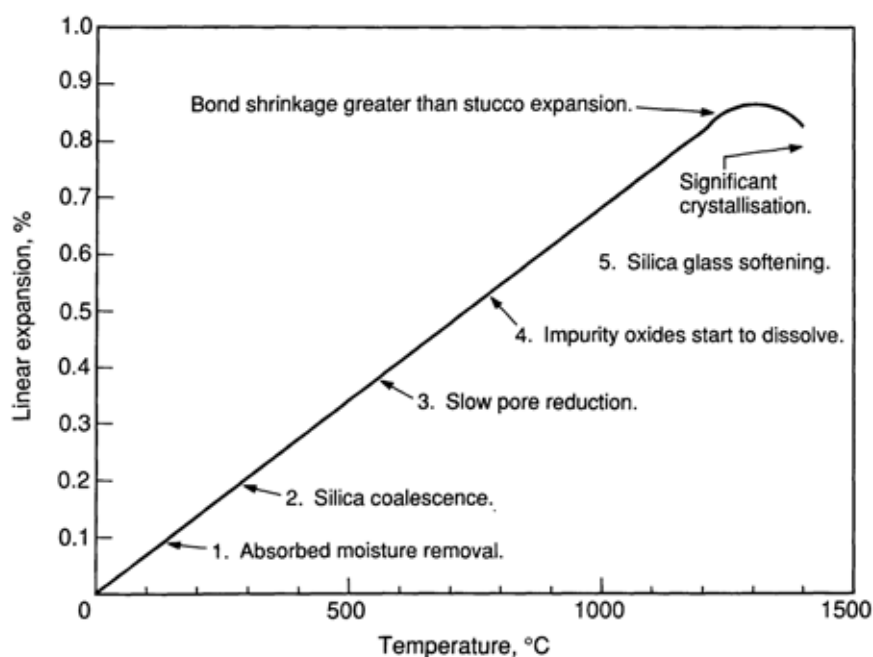
⁴ Marginally

⁵ Phase change

⁶ fused silica

تبدیل به یکدیگر هستند، این تغییرات با تغییر چگالی همراه است (شکل ۴). در حالت بلوری، تغییر حجم در یک دمای مشخص و به صورت ناگهانی رخ می‌دهد. سیلیکای آمورف مانند استوکوه‌های سیلیکایی آمورف و یا ساختار ژل بایندر سیلیکایی، در دماهای بالا بلوری می‌شود. درصد قابل ملاحظه‌ای کریستوبالیت در دماهای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود. نرخ بلورینه شدن بستگی به زمان و دمای پخت قالب سرامیکی و همچنین نوع و درصد ناخالصی‌های موجود در ترکیب قالب دارد. تلفیق سیلیکای آمورف و بلوری، که در ساختار پوسته وجود دارد، اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار^۱ بر مشخصات رفتار قالب سرامیکی تهیه‌شده از سیلیکا است [۱۲و۲].

اندازه‌گیری ضریب انبساط حرارتی از دمای اتاق تا دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، مربوط به قالب‌هایی که برای ریخته‌گری پلی کریستال استفاده می‌شود، در صورتی که این بررسی‌ها برای ریخته‌گری جهت‌دار کافی نیست. در این شرایط، بررسی مشخصات تا دمای ۱۵۵۰، یعنی دمای کاری قالب در ریخته‌گری درجه سانتی‌گراد ضروری است [۱۳].



شکل ۴- نمودار ضریب انبساط حرارتی یک نمونه سرامیکی، نشان دهنده تغییرات فازهای سیلیکاتی با افزایش دما [۲]

۲-۵- مقاومت به پارگی گرم

استحکام بیش از حد قالب، باعث پارگی گرم و ترک در قطعه ریخته‌گری می‌شود. این حالت، زمانی رخ می‌دهد که آلیاژ نسبتاً استحکام پائینی داشته و در دمای انجماد ترد باشد، سطح قطعه نیز اکسید می‌شود. زمانی که آلیاژ فلزی منجمد و خنک می‌شود، تنش فشاری ممکن است به برخی از قسمت‌های قطعه وارد شود، زیرا قالب سرامیکی با نرخ کمتری منقبض می‌شود. این تفاوت می‌تواند باعث آسیب دیدن قطعه از قبیل اعوجاج، ترک داغ، پارگی گرم^۲، تنش‌های پسماند و... شود.

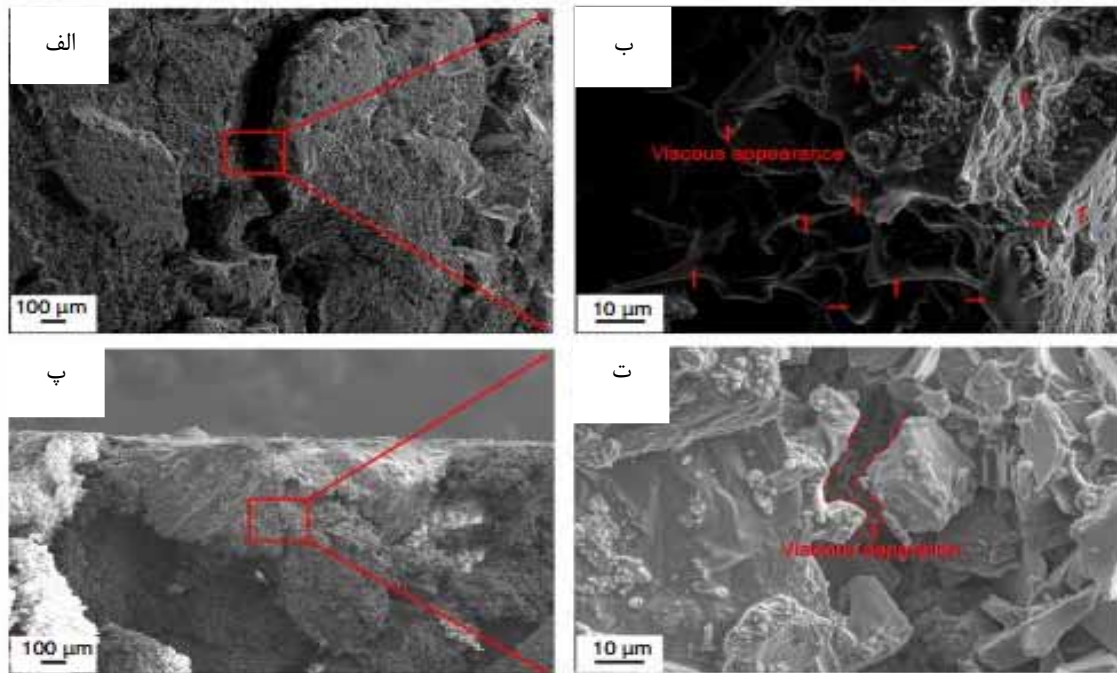
برخی قالب‌های سرامیکی اصلاح ساختاری نشده^۳ بسیار مستحکم بوده و در انجماد منجر به ایجاد پارگی گرم قطعه می‌شود. استفاده از پلیمر افزودنی در بایندر، باعث اصلاح ساختار می‌شود. زیرا فاز پلیمری در نهایت سوخته و از ساختار قالب خارج می‌شود. به علاوه فاز پلیمری باعث افزایش نفوذپذیری قالب می‌شود در نتیجه میزان قطعات خراب و عدم پر شدن قالب توسط مذاب کاهش می‌یابد [۱۰و۳]. خواص مکانیکی دمای بالای قالب‌های سرامیکی استفاده شده در ریخته‌گری جهت‌دار سوپرآلیاژهای به ندرت در مراجع ذکر شده است. مطالعه خواص مکانیکی دمای بالا، نقش مهمی در پایداری ابعادی پره توربین، افزایش میزان تولید ریخته‌گری دارد. اخیراً در تحقیقات آقای زلینگ ژو ثابت شد که در دماهای زیر ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد

¹ contribution

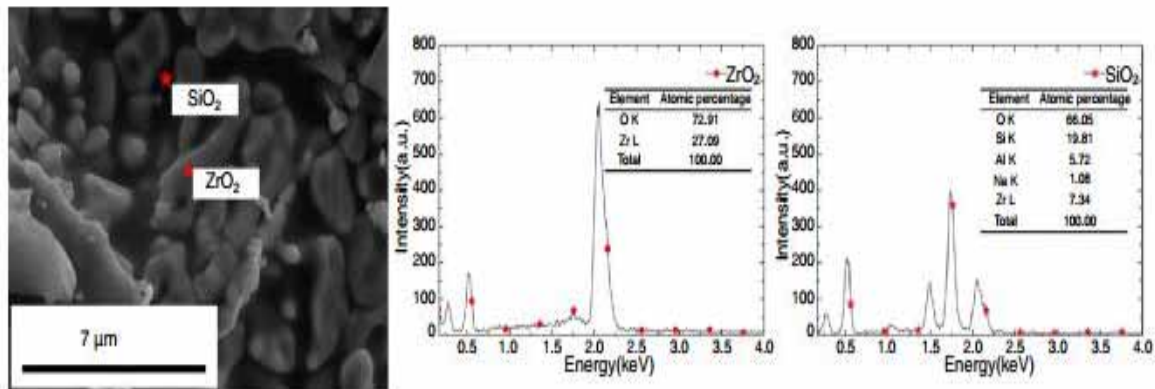
² Hot tearing-hot cracking

³ unmodified

شکست قالب‌ها از نوع شکست ترد و از درون ذرات فیلر اتفاق می‌افتد، اما در دماهای بالاتر از ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، به دلیل تشکیل یوتکتیک، لغزش ویسکوز و جدایش ویسکوز^۱ سیلیکا است. شکست از نوع ترموالاستیک و ترموپلاستیک می‌باشد [۷]. همانطور که در شکل ۵ ب و ت نشان داده شده است، جدایش در محل ترک برای نمونه‌های زینتر شده و عملیات حرارتی شده از نوع ویسکوز است. محل ترک برای نمونه‌های دمای بالا در منطقه نیمه جامد ویسکوز و اطراف ذرات درشت آلومینا است. ترکیب یوتکتیک شامل زیرکونیا و سیلیکا ZrO_2-SiO_2 در شکل ۲ مشخص شده است. همچنین ساختار یوتکتیکی نزدیک ذرات درشت آلومینا است.



شکل ۵- تصویر SEM از نواحی شکست نمونه‌های قالب سرامیکی. الف و ب (نمونه‌های زینتر شده. پ و ت) نمونه‌های عملیات حرارتی شده [۷]



شکل ۶- تصویر SEM ریزساختار و آنالیز شیمیایی منطقه یوتکتیک [۷]

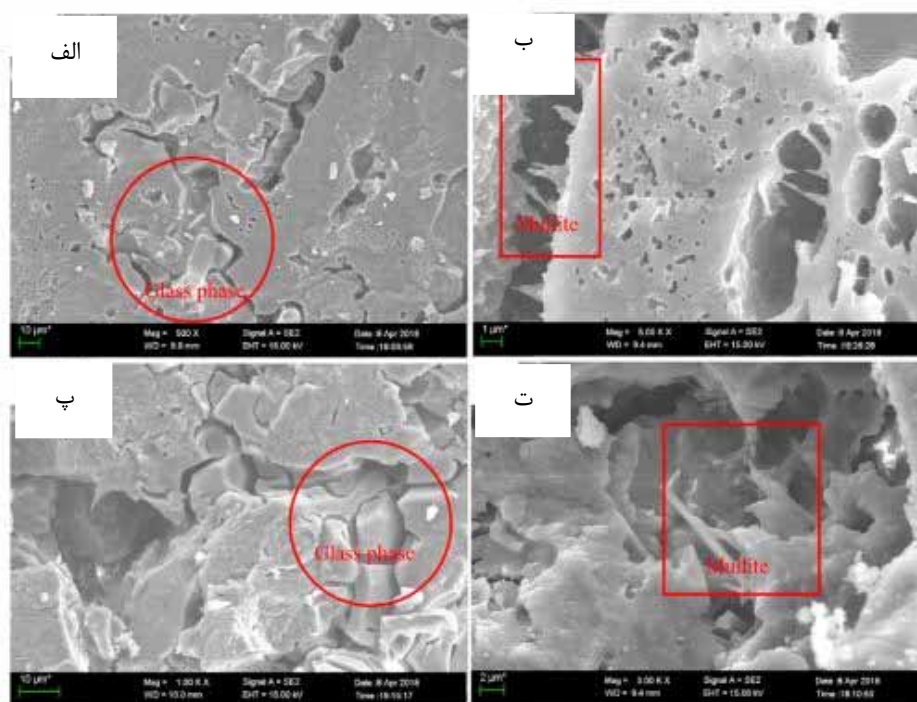
۲-۶- پایداری حرارتی - شیمیایی قالب

پایداری حرارتی- شیمیایی قالب بستگی به فیلر و بایندر استفاده شده دارد. به عنوان مثال قطعات ریخته‌گری که با قالب‌های مختلف (قالب‌های تهیه شده با بایندهای سرامیکی مختلف) ساخته شده و زبری سطحی نمونه‌ها بررسی شده است. قطعاتی که

¹ Viscous slip – viscous separation

از قالب‌های تهیه شده با بایندهای سُل سیلیکایی و هیدرولیسات‌ها تهیه شده‌اند کیفیت سطحی بالاتری نسبت به سدیم سیلیکات‌ها دارند. زیرا Na_2O موجود در سیلیکات سدیم می‌تواند با سیلیکا واکنش داده و ساختاری با دمای ذوب پایین از جمله $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ و $3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ تشکیل دهد. این ترکیبات با آلیاژ مذاب واکنش داده و باعث تخریب کیفیت سطحی قطعه می‌شود. پایداری حرارتی قالب‌های انجماد جهت دار به دلیل دمای کاری بالاتر و زمان نگهداری بیشتر باید از قالب‌های پلی کریستال بیشتر باشد [۲]. همانطور که بیان شد در لایه‌های اول این قالب‌ها از آلومینا استفاده می‌شود. زیرا پایداری حرارتی سیلیکات‌ها محدود به دمای ۱۵۵۰ درجه است و به دلیل ایجاد سیلان ویسکوز باعث کاهش استحکام قالب‌ها و حتی دفرمگی می‌شوند [۱۴]. بر اساس تحلیل‌های بیان شده در تحقیقات آقای ژلینگ ژو، قالب سرامیکی مورد استفاده برای ریخته‌گری دقیق سوپرآلیاژهای انجماد جهت دار باید شامل مقدار کافی مولایت ثانویه باشد تا از کاهش شدید ویسکوزیته فاز آمورف جلوگیری کند. افزودن اکسیدهای آلکالین مشخصاً باعث افزایش درصد فاز آمورف می‌شود. از طرفی، با افزایش دمای کلسینه کردن، مقدار فاز مولایت افزایش یافته است.

در شکل ۷، ریزساختار میکروسکوپی مورفولوژی سطح شکست برای نمونه‌های حاوی $\text{N}_2\text{O-K}_2\text{O}$ نشان داده شده است. با زینتر شدن در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد، شروع تشکیل فاز شیشه‌ای در فصل مشترک‌ها مشخص است (بین ذرات دیرگداز در شکل ۷ الف و پ). ذرات استوکوکو از طریق فاز زمینه (دوغاب) و فاز شیشه ای به یکدیگر متصل شده‌اند. همانطور که در شکل ۷ ب و ت نشان داده شده است، با افزایش دمای کلسینه کردن، تشکیل فاز مولایت شروع شده است. در این حالت، ذرات استوکوکو از طریق فاز شیشه‌ای و مولایت ثانویه تشکیل شده، به یکدیگر متصل متصل شده‌اند. افزودن اکسید آلکالین نقش مهمی در رفتار خزشی قالب‌های سرامیکی ایفا می‌کند. از یک سوی افزودن اکسید آلکالین باعث افزایش درصد فاز آمورف در فصل مشترک و کاهش ویسکوزیته فاز آمورف می‌شود و در نتیجه رفتار خزشی را بهبود می‌بخشد. از سوی دیگر، باعث افزایش درصد فاز مولایت می‌شود، و در نتیجه مکانیزم لغزش مرزخانه کنترل و محدود می‌شود [۱۴].



شکل ۷- تصویر SEM. الف) نمونه حاوی N_2O کلسینه شده در ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد. ب) کلسینه شده در ۱۳۵۰ درجه سانتی‌گراد. پ) نمونه حاوی K_2O کلسینه شده در ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد. ت) کلسینه شده در ۱۳۵۰ درجه سانتی‌گراد [۱۴].

۲-۷- نفوذپذیری گازی

در ریخته‌گری، مذاب آلیاژ با دمای بالا درون قالب سرامیکی ریخته می‌شود و زمان داده می‌شود تا خنک شود. درون قالب پر از

هوا است و باید این هوا با مذاب جابجا شود. هوای محبوس باید به سرعت از حفره قالب خارج شده و تخلخل و هوای محبوس درون قطعه ریخته‌گری ایجاد نشود، حباب‌ها و به طور جدی‌تر پر نشدن کامل قالب و ایجاد قسمت‌های ناقص در ریخته‌گری، ممکن است رخ دهد. چندین مکانیسم برای خروج هوای قالب وجود دارد؛

۱- جابجایی مستقیم با هوا در زمان ریخته‌گری

۲- جذب توسط آلیاژ

۳- خارج شدن از حفرات و تخلخل‌های باز قالب

نفوذپذیری قالب مهم‌ترین فاکتور است، بسیاری از قالب‌های ریخته‌گری تا ۳۰٪ تخلخل باز دارند. با افزایش تخلخل‌های راه به در نحوه پر شدن قالب با مذاب بهبود می‌یابد. نفوذپذیری در یک دمای مشخص مستقل از زمان است. این یک مزیت بزرگ برای ریخته‌گری است، یعنی افزایش نفوذپذیری باعث افزایش دقت در شبیه‌سازی فرآیند ریخته‌گری می‌شود [۱۵]. قبلاً هم بیان شد که به دلیل ایجاد عملیات حرارتی بر روی قالب‌های انجماد جهت دار و به دلیل سیلان سیلیکاتی، حفرات و گپ‌های قالب پر شده و در نتیجه می‌توان گفت که تخلخل قالب‌های انجماد جهت دار از قالب‌های پلی کریستال، بر یک نمونه مشابه بالاتر می‌باشد. که به دلیل ضخامت بیشتر این قالب‌ها، نفوذ پذیری کاهش می‌یابد [۷].

۳- بحث و نتایج

به عنوان جمع بندی، انتخاب صحیح مواد سرامیکی برای تولید قالب‌های سرامیکی یک نکته کلیدی است. اکسیدهایی نظیر زیرکون، آلومینا، سیلیکات آلومینا، سیلیکات زیرکونیوم، مولایت و سیلیکات آمورف مواد اصلی مورد استفاده در قالب‌های سرامیکی پوسته‌ای می‌باشند. استوکو نیز معمولاً از سیلیکات آلومینا یا آلومینا انتخاب می‌شود. که از نظر اقتصادی بهترین گزینه هستند. زیرکون به دلیل ناخالصی‌هایی و استحاله فازی به ساختار مونوکلینیک معمولاً استحکام دمای بالای قالب را کاهش می‌دهد، همچنین می‌تواند منجر به ایجاد ترک و یا تغییر ابعادی و شکل قالب سرامیکی شود. به همین دلایل ضروری است تا ذراتی دیگری به عنوان پایدارکننده زیرکونیای تتراگونال و یا معمولی^۱ به ترکیب اضافه شود تا از استحاله فازی جلوگیری شود. زیرکون به دلیل قیمت بالا در ساخت قالب ریخته‌گری جهت دار تک کریستال استفاده نمی‌شود.

دمای ذوب مولایت ۱۸۱۰ درجه سانتی‌گراد است، چگالی آن $3/05 \text{ g/cm}^3$ است، چگالی آن بستگی به دما ندارد. به دلیل ضریب انتقال حرارت پایین و ضریب انبساط دمایی کم، نسبت به شوک حرارتی و خزش بسیار مقاوم است. آلومینا تا حدی باعث اصلاح و کاهش تشکیل کریستوبالیت در فرآیند پخت می‌شود. درصد بالای آلومینا باعث کاهش مقاومت قالب در برابر شوک پذیری قالب‌ها می‌شود، اما مقاومت دمایی ترکیب کلی افزایش می‌یابد. مزیت بالای آلومینا قیمت مناسب و در دسترس بودن آن است. یکی از مزیت‌های بزرگ آلومینا عدم استحاله فازی و همچنین عدم نرم شدن در اثر افزایش دما است. همچنین در تماس با آلیاژهای خورنده نیز کمتر فعال است آلومینا در برابر سیلیکات زیرکونیوم به‌عنوان ماده ترجیحی برای فرآیند انجماد جهت‌دار استفاده می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

پره‌های توربین انجماد جهت دار نسبت به پره‌های پلی کریستال در دماهای کاری بالاتری استفاده می‌شوند و سوپر آلیاژهایی با دمای ذوب بالاتری در این قالب‌ها ریخته‌گری می‌شوند. همچنین مدت زمان نگه داری مذاب در قالب سرامیکی در فرایندهای تولید پره‌های تک کریستال نسبت به گرید پلی کریستال بیشتر است. در نتیجه خواص قالب نیز بایستی متناسب با این شرایط کاری باشد. تحقیقات نشان داده است که برای تولید قالب‌های تک کریستال عملیات حرارتی در ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود. زیرا در نمونه‌های عملیات حرارتی شده، درزهای کوچک پر و زینتر شده و ذرات درشت تر تشکیل می‌شود. استحکام فشاری قالب سرامیکی عملیات حرارتی شده در دمای اتاق افزایش می‌یابد.

¹ Regular

- از آلومینا به دلیل مقاومت بالاتر به سایش و استحکام بالاتر، عدم استحاله فازی و همچنین عدم نرم شدن در اثر افزایش دما در دوغاب لایه اول استفاده می‌شود. همچنین آلومینا در تماس با آلیاژهای خورنده نیز کمتر فعال است. به علت قیمت مناسب و در دسترس بودن، آلومینا در مقایسه با سیلیکات زیر کونیوم به‌عنوان ماده ترجیحی برای فرآیند انجماد جهت‌دار استفاده می‌شود.
- تخلخل قالب‌ها بایستی به حدی باشد تا در صورت خروج موم دچار ایجاد ترک و افت خواص قالب نشود. این مقدار در مراجع مختلف ۲۵-۳۰٪ گزارش شده است.
- دماهای بالاتر از ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و تنش اعمالی، خواص مکانیکی افت کرده و دلیل آن لغزش ویسکوز سیلیکا است. این رفتار یک دلیل اصلی برای خزش دمای بالای قالب‌های سرامیکی در حین انجماد جهت‌دار است.
- کوراندم به عنوان استوکو به ویژه در لایه اول استفاده می‌شود. کوراندم، پایدارترین حالت ترمودینامیکی آلوتروپیک آلومینا است که مقاومت بسیار خوبی در مقابل کسیدهای فلزی، محلول‌های اسیدی و بازی دارد، دانه‌های آن معمولاً نامنظم و با لبه‌های تیز است.

مراجع

- [۱] مهدی روشنی، سعید باغشاهی، حمید احمدحیرابی و علی جهان افروز، تاثیر افزودن الیاف نایلون بر ویسکوزیته دوغاب و استحکام قالب‌های سرامیکی در روش ریخته‌گری دقیق، اولین همایش بین‌المللی و ششمین همایش مشترک انجمن مهندسی متالورژی ایران، انجمن علمی ریخته‌گری ایران، ص ۱-۱۵، ۱۳۹۱
- [2] P.R. Beeley, R.F. Smart, Investment Casting, The Institute of Materials, London, UK, pp. 43-65, 1995
- [3] S. Jones, C. Yuan, Advances in shell moulding for investment casting, Journal of Materials Processing Technology, pp. 258-265, 2003
- [4] Wu HH, Li DC, Tang YP. Fabrication of integral core/shell ceramic casting mould for hollo w turbine blade, Appl Mech Mater Trans Tech Publ, 2013.
- [5] Krzysztof Kubiak, Dariusz Szeliga, Jan Sieniawski, The Unidirectional Crystallization of Metals and Alloys (Turbine Blades), Handbook of Crystal Growth, pp. 413-435, 2015
- [6] H Dong, H Dai, Single-Crystal Casting/Directional Solidification, University of Leicester, Leicester, UK, TWI Ltd, Cambridge, UK, pp. 89-108, 2014
- [7] Zilin Xu, Jiang wei Zhong, Xiang lin Su, Qingyan Xu, Baicheng Liu, Article Microstructure evolution and mechanical behaviors of alumina-based ceramic shell for directional solidification of turbine blades, pp. 1-11, 2018
- [8] Ekaterina Rzyankina, Numerical and experimental investigation of Directional Solidification in vacuum Investment Casting of Superalloys, Cape Peninsula University of Technology, pp. 30-40, 2013
- [9] D. Szeliga, K. Kubiak, M. Motyka, J. Sieniawski, Directional solidification of Ni-based superalloy castings: Thermal analysis, pp. 1-51, 2016
- [10] Defeng Liao, Zitian Fan, Wenming Jiang, Enqiang Shen, Dejun Liu, Study on the surface roughness of ceramic shells and castings in the ceramic shell casting process based on expandable pattern, Journal of Materials Processing Technology, pp. 1465-1470, 2011
- [11] Sarika Mishra, Rati Ranjana, Reverse Solidification Path Methodology for Dewaxing Ceramic Shells in Investment Casting Process, Materials and Manufacturing Processes, pp. 1385-1388, 2010
- [12] Fu Wang, Dexin Ma, Samuel Bogner, and Andres Buhrig-Polaczek, Comparative Investigation of the Downward and Upward Directionally Solidified Single-Crystal Blades of Superalloy CMSX-4, pp. 2376-2386, 2017
- [13] Atsushi Sato, Nickel-Based Single Crystal Superalloys for Industrial Gas Turbines, University of Birmingham, pp. 39-57, 2011
- [14] Yameng Wei, Zhigang Lua, Xin Guo, Influence of alkaline oxide on the deformation of ceramic shell mould at high temperatures during investment casting, pp. 1-8, 2018
- [15] Scott Simmonds, Formation and Avoidance of Surface Defects during Casting and Heat-Treatment of Single-Crystal Nickel-Based Superalloys, department of Engineering, university of Leicester, pp. 90-111, 2013
- [16] P. Carter, D.C. Cox, C.A. Gandin 1, R.C. Reed, Process modelling of grain selection during the solidification of single crystal superalloy castings, pp. 233-246, 1999.

معرفی پایان نامه‌های دانشجویی

پایان نامه دکتری

بررسی خواص اپتیکی و مکانیکی نانوکامپوزیت‌های YAG - Spinel تهیه شده به روش sps

دانشجو: رضا ایران خواه

استاد راهنما: محمدرضا رحیمی پور

استاد مشاور: منصور رضوی

پژوهشگاه مواد و انرژی

چکیده: در این پژوهش خواص اپتیکی و مکانیکی اسپینل $MgAl_2O_4$ ، YAG و کامپوزیت YAG-Spinel با نسبت‌های متفاوت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. این سرامیک‌ها با استفاده از مواد اولیه و با روش سینتر جرقه پلاسما تهیه شدند. نمونه‌های اسپینل در دمای $1250^\circ C$ به مدت 10 min سنتز و سینتر شدند. بررسی تاثیر خلوص مواد اولیه بر روی میزان عبور امواج مادون قرمز این نمونه‌ها نشان داد که با افزایش میزان خلوص مواد اولیه، میزان عبور نیز افزایش می‌یابد. بیشترین میزان عبور داخلی برابر با ۵۵ درصد بدست آمد. با هدف تهیه نمونه‌های YAG، مخلوط پودرها در دمای $1250^\circ C$ تا $1500^\circ C$ سنتز و سینتر شدند. نتایج نشان داد نمونه‌های تهیه شده در دماهای کمتر از $1450^\circ C$ علاوه بر فاز YAG، دارای فازهای باقیمانده بوده و همچنین میزان عبور داخلی امواج مادون قرمز در بازه طول موج‌های ۳ تا $5\mu m$ در نمونه حاوی فاز کامل YAG، برابر با ۱۴ درصد بدست آمد. مقادیر چگالی، سختی و استحکام خمشی این نمونه به ترتیب برابر با $3.19/4\text{ g/cm}^3$ ، $22 \pm 278\text{ MPa}$ و $1 \pm 9\text{ GPa}$ و $215 \pm 7\text{ MPa}$ بدست آمد. میکروکامپوزیت‌های YAG-Spinel با استفاده از مواد اولیه با خلوص پایین سنتز و سینتر شدند. نتایج نشان داد در دماهای کمتر از $1300^\circ C$ علاوه بر فازهای اصلی فازهای واکنش ناده YAM و YAP در ساختار نمونه‌ها وجود داشته و با افزایش دمای سینتر خواص مکانیکی نمونه‌ها بهتر شده به طوری که نمونه‌های سینتر شده دارای مقادیر چگالی، سختی و استحکام خمشی به ترتیب برابر با $3.19/4\text{ g/cm}^3$ ، $22 \pm 278\text{ MPa}$ می‌باشند. در ادامه سنتز و سینتر کامپوزیت‌های مختلف از دو جزء YAG: $MgAl_2O_4$ با نسبت‌های مولی مختلف انجام شد. حضور فازهای ناخواسته و غیرمطلوب از نظر اپتیکی نظیر در ساختار کامپوزیت با استفاده از راهکارهایی نظیر استفاده از افزودنی و آلمینا در مخلوط مواد اولیه برطرف شد. کامپوزیت‌های تهیه شده دارای عدم عبور داخلی امواج مادون قرمز بوده و خواص شامل کمترین و بیشترین استحکام خمشی 114 تا 305 MPa در نمونه‌های دارای ۳ و ۱ درصد مولی بدست آمد.

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی ریزساختار و خواص فریت روی تهیه شده به روش سینتر سرد

دانشجو: مهسا کمانی

اساتید راهنما: امین یوردخانی، رضا پورصالحی

استاد مشاور: رسول صراف ماموری

دانشگاه تربیت مدرس

چکیده: فریت‌ها سرامیک‌های مغناطیسی هستند که به دلیل مقاومت الکتریکی بالا و خواص مغناطیسی مناسب کاربردهای بسیاری در صنایع قدرت، الکترونیک و مخابرات دارند. مهم‌ترین دسته‌ی فریت‌ها، فریت‌های پایه روی مانند فریت منگنز-روی و نیکل-روی هستند. فریت‌ها معمولاً در بازه‌ی دمایی 1400°C - 1200°C همراه افزودنی (کمک سینتر) جهت تسهیل فرآیند نفوذ سینتر می‌شوند. اخیراً روشی تحت عنوان سینتر سرد به جامعه‌ی مهندسی سرامیک معرفی شده است. در این روش سرامیک به دانسیته نسبی بالای ۹۰٪ در دمای زیر 400°C سینتر می‌شود. در این پژوهش سینتر سرد برای فریت روی به عنوان یک مدل برای سینتر فریت‌ها معرفی شده است. در این پژوهش با تنظیم نسبت اسید ستیریک به نیترات روی دو نوع پودر فریت روی خالص و پودر حاوی ناخالصی به روش سل-ژل نوع پچینی سنتز شد. سپس پودرهای سنتز شده در محلول اسید استیک ۱۲ مولار در اتانول عملیات شیمیایی شدند. انحلال نامتجانس فریت روی در این محلول موجب جدایش روی از فریت روی و انحلال در محلول بصورت استات روی و تشکیل ناخالصی هماتیت در پودر شد. سپس فرآیند سینتر سرد در بازه‌ی دمایی $280-350^{\circ}\text{C}$ در مدت زمان ۱-۴ ساعت تحت فشار 30Mpa انجام شد. نمونه‌های سینتر سرد شده در دمای 750°C به مدت ۶ ساعت عملیات حرارتی شدند. مطابق با نتایج مشخصه یابی پراش پرتو ایکس و تبدیل فوریه فرسوخ پودرهای ناخالص پس از سینتر سرد و عملیات حرارتی تبدیل به قرص‌هایی تک فاز و عاری از هرگونه ناخالصی شدند. همچنین تاثیر پارامترهای سینتر سرد همچون دما، زمان و عملیات حرارتی بر دانسیته‌ی نسبی بررسی شد. دانسیته‌ی نسبی نمونه‌ها با افزایش دما و زمان سینتر سرد افزایش یافت. عملیات حرارتی نیز منجر به دستیابی به نمونه‌هایی با دانسیته‌ی نسبی حدود ۹۳٪ شد. مشخصه یابی میکروسکوپ الکترونی روشی نشر میدانی حاکی از شباهت ریزساختار نمونه‌های سینتر سرد شده به نمونه‌های سینتر سنتی شده در دمای $1400-1200^{\circ}\text{C}$ است.

اعضای حقوقی انجمن سرمایه‌های ایران

اعضای حقوقی ویژه انجمن سرمایه‌های ایران



شرکت سهامی شیشه قزوین (سهام)
Ghazvin Glass Co

شرکت سهامی شیشه

قزوین (عام)

مدیرعامل: مهندس

محمدرضا علاقه‌بندیان

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان استاد مطهری، خیابان شهید سرافراز، پلاک ۳۴

تلفن دفتر مرکزی:

۰۲۱-۸۸۷۳۱۵۱۵

نشانی سایت: www.ghazvinglass.com



شرکت پویا همراه سرام (بازرگانی

و مهندسیین مشاور)

مدیرعامل: مهندس محسنی طارمسری

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

تهرانپارس، خیابان رشید، نبش خیابان ۱۴۴ غربی، ساختمان امیرکبیر،

طبقه ۲، واحد ۱۰

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۲۹۵۴۹۸

نشانی سایت: www.phceram.com

Glassworks Hounsell Ltd

مدیرعامل:

Mr. William Brinkman

آدرس دفتر مرکزی: Glassworks Hounsell, Park Lane,

Halesowen, West Midlands, United Kingdom

تلفن دفتر مرکزی:

۴۴-(۰)-۱۳۸۴۵۶۰۶

فاکس: ۴۴-(۰)-۱۳۸۴۵۶۱۳۶

نشانی سایت:

<http://www.glassworkshounsell.co.uk>



GLASSWORKS HOUNSELL
MANUFACTURING IN THE HEART OF BRITAIN



لعابیران

مدیرعامل: دکتر نعمتی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان

ونک، خیابان گاندی شمالی، کوی شهید

صانعی، شماره ۲۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۹۵۱۴۱-۲

نشانی سایت: www.loab.iran.com

اعضای حقوقی ممتاز انجمن سرامیک ایران

دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

مدیریت: دکتر متین

آدرس: دزفول، کوی آزادگان، دانشگاه آزاد اسلامی

تلفن دفتر مرکزی:

۰۶۴-۱۶۲۶۲۰۹۰

نشانی سایت:

www.iaud.ac.ir

**چینی بهداشتی آرمیتاژ**

مدیر عامل: مهندس محمدحسین وکیلی مقدم

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان ونک، پاساژ تک،

طبقه دوم، آپارتمان شماره ۷

تلفن دفتر مرکزی:

۰۲۱-۸۸۷۹۰۲۲۷

نشانی سایت: http://www.armitagesw.com

**شایراد تجارت پارس**

مدیر عامل: مهندس اتحادی

آدرس: تهران، خیابان آفریقا،

خیابان فرزانه غربی، پلاک ۸۰، واحد

۱۱

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۴۸۳۱۰

نشانی سایت: www.shyrad.com

**دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و****تحقیقات خوزستان**

مدیریت: دکتر لک

آدرس: اهواز، سهراه فرودگاه، دانشگاه آزاد

واحد علوم و تحقیقات

تلفن دفتر مرکزی: ۰۶۱-۳۴۴۵۷۱۷۴

نشانی سایت: www.khouzestan.srbiau.ac.ir

**کاشی گرانیات و کاشی لعاب زهره**

مدیر عامل: مهندس خیاط

آدرس دفتر مرکزی: خراسان رضوی، کاشمر، کیلومتر ۱۲ محور



کاشمر به مشهد، جنب

شهرک صنعتی، شرکت کاشی

زهره کاشمر

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۵۵۳۸۳۵۹۱

نشانی سایت: www.zohrehtile.com

کاشی کسری

مدیر عامل: مهندس روشنفکر

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان آفریقا،

خیابان ناهید شرقی، پلاک ۱۲، طبقه ۳ و ۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۱۰۱۴۰

نشانی سایت:

www.kasratileco.com

**فرآورده‌های نسوز آذر**

مدیر عامل: مهندس سلیمانی فرد

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از پارک ساعی،

کوچه ساعی ۲، روبروی مدرسه پسرانه هاتف، پلاک ۳۱، واحد منفی ۱

تلفن دفتر مرکزی:

۰۲۱-۸۸۸۲۰۹۵

نشانی سایت:

www.azarref.ir

**کاشی فیروزه مشهد**

مدیر عامل: مهندس مسعود فولادکار

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار سجاد، خیابان بیستون ۲، مجتمع

تجاری طوس، طبقه ۵ و ۶

صندوق پستی: ۹۱۳۷۵-۴۴۳۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۷۶۷۰۰۰۱

نشانی سایت: www.firoozehtile.com

**فرآورده‌های نسوز ایران**

مدیر عامل: مهندس لقمانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان بهار شیراز،

خیابان سلیمان خاطر، بعد از ملایری‌پور، پلاک ۵۱،

واحد ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۴۳۴۰۸

نشانی سایت: www.irefco.ir



اعضای حقوقی انجمن سرامیک ایران

آپادانا سرام

مدیر عامل: مهندس نجفی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان

ملاصدرا، روبروی بیمارستان بقیه‌الله،

کوچه گلدهشت، گلدهشت یکم، پلاک ۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۴۳۱۰۰۰۰

نشانی سایت: www.apadanaceram.com



آریا تهران سرام

مدیر عامل: محمد علی سلیمانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، خیابان شیرازی

جنوبی، خیابان اتحاد، پلاک ۴، واحد ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۵۹۶۱۰

اشکان پارت آفرین

مدیر عامل: دکتر غفاری

آدرس دفتر مرکزی: کرج، گلشهر ویلا رودکی

غربی، پلاک ۲۷۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۶۳-۶۶۷۰۸۳۶



ایران ایمدی

مدیر عامل: مهندس مطلب لو

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان شیراز شمالی، نبش کوچه

شهریار، ساختمان ۳۳، واحد ۱۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۷۰۷۱

نشانی سایت: www.imdco.net



گروه پاترون (پات روشن)

نیکنان)

مدیر عامل: مهندس عباس

کلاتر

آدرس: تهران، خیابان ملاصدرا، پلاک ۱۶۲، طبقه چهارم

تلفن: ۰۲۱-۸۸۲۱۰۸۹۰

نشانی سایت: www.patron.group



پارس کائولن

مدیر عامل: مهندس صمدی

آدرس: طیس، نرسیده به جو خواه،

معدن کائولن پارس

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۵۵۷۳

نشانی سایت: www.parskaolin.com



پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ

مدیریت: دکتر رنجبر

آدرس دفتر مرکزی: بزرگراه

صیاد شیرازی شمالی، خروجی لویزان، میدان حسین‌آباد، خیابان

وفامنش، نبش کوچه شمس، پلاک ۵۹

تلفن: ۰۲۱-۲۲۹۴۴۱۸۴

نشانی سایت: www.icrc.ac.ir



پژوهشگاه مواد و انرژی

مدیریت: دکتر صالحی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آرژانتین،

انتهای خیابان الوند، کوچه جوبین، پلاک ۱۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۷۱۶۲۶-۲۷

نشانی سایت: www.merc.ac.ir

پژوهشگاه
مواد و انرژی

پیشرو ذوب آتور

مدیر عامل: مهندس ملایی داریانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان احمد

قصیر، کوچه یکم، پلاک ۶، واحد ۱۰

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۴۹۸۸۴

نشانی سایت: www.pishrozob.com



پیشگامان سرامیک برسام

مدیر عامل: مهندس سرجهانی

آدرس دفتر مرکزی: شیراز، بلوار امیرکبیر برج صنعت

وردی ۳، طبقه ۴، واحد ۴۱۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۷۱-۳۸۳۸۵۴۴۴

نشانی سایت: www.barsamceram.com





تولیدی و مهندسی نسوزین

مدیر عامل: مهندس زرعیان
 آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان
 آرژانتین، خیابان بیهقی، خیابان دوازدهم
 شرقی، پلاک ۲، طبقه ۳، شماره ۶
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۰۴۵۹۱
 نشانی سایت: www.nasoozin.com



تولیدی و صنعتی سامان کاشی

مدیر عامل: مهندس سیدمحسنی
 آدرس دفتر مرکزی: تهران، بلوار میرداماد،
 بین نفت و مدرس، شماره ۲۳۷، طبقه ۱
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۵۸۸۲۱
 نشانی سایت: www.samantile.com

تهیه و تولید مواد اولیه آریاکانی اسپادانا

مدیر عامل: دکتر پویامهر
 آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان ملاصدرا، خیابان پانزدهم،
 پلاک ۳۴، واحد ۳
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۶۱۷۵۳۷-۸

تهیه و تولید خاک نسوز استقلال آباده

مدیر عامل: مهندس زارعی
 آدرس دفتر مرکزی: آباده، چهارراه جوادیه
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۷۱-۴۴۳۳۷۹۹۷

چینی اصفهان

مدیر عامل: مهندس جهانبانی
 آدرس: اصفهان، جاده دولت آباد، خیابان بهارستان، اولین فرعی سمت
 چپ، خیابان خوشانی
 تلفن دفتر مرکزی:
 ۰۳۱-۴۵۸۳۶۲۰۰



تهیه و تولید مواد نسوز کشور

مدیر عامل: مهندس باقری
 آدرس دفتر مرکزی: تهران، یوسف آباد،
 خیابان ابن سینا، نبش خیابان ۳۱،
 شماره ۸۲
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۱۲۵۶۲
 نشانی سایت: www.irrep.com



چینی زرین ایران



مدیر عامل: مهندس قصابی
 آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک،
 خیابان ونک، ساختمان شماره ۲۵
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۷۰۰۴۴
 نشانی سایت: www.zariniran.com



چینی بهداشتی ارس

مدیر عامل: مهندس حسین پور
 آدرس دفتر مرکزی: تهران،
 خیابان ملاصدرا، خیابان شیخ بهایی،
 میدان شیخ بهایی، برج صدف، طبقه ۴، واحد ۶۴
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۶۰۶۵۰۸
 نشانی سایت: www.arasind.com

دانشگاه ملایر



مدیریت: دکتر علیرضا سوری
 آدرس: دانشگاه ملایر، دانشکده فنی و مهندسی،
 گروه مهندسی مواد
 تلفن: ۰۸۱-۳۲۳۵۵۴۶۵
 نشانی سایت: www.malayeru.ac.ir



خاک چینی ایران

مدیر عامل: مهندس نوروزی
 آدرس دفتر مرکزی: خیابان ولیعصر، نرسیده به
 پل پارک وی، کوچه خاکزاد، پلاک ۲۱، طبقه اول
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۱۸۱۰۷



رنگدانه‌های سرامیکی گهرفام

مدیر عامل: مهندس مهینی
 آدرس دفتر مرکزی: یزد، شهرک صنعتی خضرآباد، بلوار افاقیا،
 خیابان زیتون
 تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۳-۷۲۷۲۴۴۸



درسا سرام ایساتیسی

مدیر عامل: مهندس ندافیان
 آدرس دفتر مرکزی: سعادت آباد،
 بلوار فرهنگ، نبش خیابان ۲۰ شرقی، پلاک ۲، طبقه ۴ شمالی
 تلفن: ۰۲۱-۲۲۳۸۳۱۶۰
 نشانی سایت: www.Doramic.com



Sara Loab Maybod.co

سارا لعاب میبد

مدیرعامل: مهندس جعفری پور

میبدی

آدرس دفتر مرکزی: میبد، شهرک

صنعتی جهان آباد، بلوار نسترن، انتهای

بلوار سمت راست

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۲-۷۷۷۲۲۲۸

نشانی سایت: www.saralaab.com**سارا کاشی سپاهان**

مدیرعامل: مهندس باطنی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان

سجاد، ابتدای خیابان ارباب، جنب بانک

صادرات، مجتمع کسری، واحد ۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۶۲۷۱۱۷

نشانی سایت: www.saratile.com**سرامیک‌های صنعتی اردکان**

مدیرعامل: مهندس برهانی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان،

میدان آزادی، ابتدای خیابان

سعادت آباد، پلاک ۱، طبقه ۴، واحد ۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۶۸۷۷۷۲

نشانی سایت: www.aic.ir**ساگار و قطعات نسوز**

مدیرعامل: مهندس معرفتی

آدرس: مرند، کیلومتر ۵ جاده قدیم جلفا،

شهرک صنعتی سرامیکی

تلفن: ۰۴۱-۴۲۲۲۳۲۸۲

نشانی سایت: www.saggarmfg.com

Fiberona Co. Ltd.

شرکت فیبرونا

مدیرعامل: مهندس شاهپوری

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان میرزای شیرازی، نیش استاد

مطهری، شماره ۲۱۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۲۳۳۵۵

نشانی سایت: www.fiberona.com

نویسنده کاشی و سرامیک بحث ۲، ۳

شرکت صنایع سرام آرا

مدیرعامل: مهندس آهنی‌ها

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان سپهبد قرنی، بالاتر از چهارراه طالقانی، خیابان شاداب غربی،

پلاک ۳۳، طبقه ۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۹۱۰۴۵

نشانی سایت: www.ceramara.ir**صنایع کاشی زرین خراسان**

مدیرعامل: مهندس عمید متشع

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان

ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، پلاک ۹۹،

طبقه اول

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۶۷۶۸۱

نشانی سایت: www.zarrintile.comشرکت متری پازگانی
درداران سریر
واردات-صادرات مصالح کاشی نیریزی
۱۳۷۷**شرکت مهندسی بازرگانی**

درداران سریر

مدیرعامل: مهندس طهماسبی

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان ولیعصر، خیابان فتحی شقاقی، میدان سلماس، پلاک ۳، طبقه

۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۳۳۷۳۶۶-۸

نشانی سایت: www.sarirco.com

ALVAND TILE

صنایع کاشی و سرامیک الوند

مدیرعامل: مهندس

هوشیاری

آدرس دفتر مرکزی:

تهران، خیابان آفریقا، بالاتر از چهارراه اسفندیار، کوچه شهید سعیدی،

پلاک ۲۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۵۷۸۱۱

نشانی سایت: www.alvancer.com

صنایع کاشی نیلوفر

صنایع کاشی نیلوفر

مدیرعامل: مهندس نوربخش

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار

فردوسی، مجتمع تجاری اسکان، طبقه ۱،

واحد ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۷۶۲۳۳۳۶

نشانی سایت: www.nilooartile.com



صنعت سرام

مدیرعامل: مهندس غفاری

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان فرجام، بین چهارراه خاور و ولیعصر، پلاک ۶۲۰ واحد ۱۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۷۲۳۵۸۹



صنایع کاشی و سرامیک سینا

مدیر عامل: مهندس عزیزیان

آدرس دفتر مرکزی: تهران، بلوار میرداماد، بعد از میدان مادر، پلاک ۲۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۲۷۲۳۰۱

نشانی سایت: www.sinatile.ir

فرآورده‌های نسوز پارس

مدیر عامل: مهندس حیدریور

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان ونک، خیابان ونک، برج آیین ونک، طبقه ۷، واحد ۷۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۷۸۶۶۹۲

نشانی سایت: www.pars-ref.ir

فرآورده‌های نسوز آذر شهاب تبریز

مدیر عامل: مهندس صدیقی

آدرس دفتر مرکزی: تبریز، خیابان راه آهن، ایستگاه سرچشمه، مجتمع تجاری میلاد، طبقه ۳، واحد ۳۰۵

تلفن دفتر مرکزی: ۰۴۱-۳۵۵۱۸۴۴۱

نشانی سایت: www.azarshahab.com



کاشی تیما

مدیرعامل: دکتر ناصری

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، شهرک صنعتی توس، فاز ۲، اندیشه ۲، انتهای دانش ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۵۴۱۳۹۹۰

نشانی سایت: www.tima-tile.com



کائولین و خاک‌های نسوز

خراسان

مدیر عامل: مهندس زیارت نیا

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، بلوار فلسطین، فلسطین ۱۴، پلاک ۲۸

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۷۶۷۳۰۳۴-۵

نشانی سایت: www.kaolin-co.com

کاشی طوس

مدیرعامل: مهندس توکلی فرد

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، خیابان سناباد، جنب داروخانه سناباد، ساختمان ۴۶۵، طبقه ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۸۴۱۶۴۱۸

نشانی سایت: www.toostileco.com



کاشی ستاره میبد

مدیرعامل: مهندس خالقیه

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ملاصدرا، شیراز جنوبی، گرمسار غربی، کوچه بهار، پلاک ۲۶، طبقه ۴، واحد ۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۴۷۴۴

نشانی سایت: www.setaretile.com

کاشی مرجان

مدیر عامل: مهندس معصومی

آدرس دفتر مرکزی: اصفهان، خیابان چهار باغ بالا، کوچه کاویان، پلاک ۴۱

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۱۳-۶۲۴۸۰۱۹

نشانی سایت: www.marjantileco.com



کاشی کورد

مدیر عامل: مهندس چنگیزی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، سهروردی شمالی، هویزه شرقی، پلاک ۳۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۳۵۲۳۳۳۳

نشانی سایت: www.cordgroup.com



کاشی نوآوران

مدیر عامل: مهندس طباطبایی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، میبد، شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار مریم

تلفن: ۰۳۵۳-۲۳۷۲۱۹۳

نشانی سایت: www.noavarceramics.ir



کاشی مسعود ایران

مدیرعامل: مهندس فرشادپور

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان آفریقای شمالی، ساختمان مرکز تجارت ایران، طبقه ۹، واحد ۶

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۶۲۱۲۶۳۵-۳۷

نشانی سایت: www.masoudtile.com



شرکت گلسار فارس

گلسار فارس

مدیر عامل: مهندس فرحمند

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان کریم‌خان
زند، خیابان سپهبد قرنی، خیابان برادران شاداب،
پلاک ۳۳، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۹۰۸۰۴۴

نشانی سایت: www.golsarfars.com**کسری لعاب مبیّد**

مدیر عامل: مهندس میرحسینی

آدرس: یزد، شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار مریم، فرعی سمت راست
تلفن: ۰۳۵۳-۲۳۷۲۹۳۱

**لعاب مشهد**

مدیر عامل: دکتر یوسفی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان
ملاصدرا، خیابان شیراز جنوبی، کوچه اتحاد، پلاک ۱۴، طبقه ۲
تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۰۴۳۶۹۶

نشانی سایت: <http://www.mashhadglaze.com>**لعاب مارال مبیّد**

مدیر عامل: دکتر داود قهرمانی

آدرس دفتر مرکزی: یزد، مبیّد،
شهرک صنعتی جهان آباد، بلوار
نسترن شمالی، خیابان صنعت ۹

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵-۳۲۳۷۴۰۹۶-۷

نشانی سایت: www.marallob.ir**مجتمع تولید چینی بهداشتی نوین سرام**

مدیر عامل: مهندس حقی

آدرس دفتر مرکزی: مشهد، چهارراه
ابوطالب، مجتمع برجیس، طبقه دوم، واحد ۳
تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱-۱۷۲۷۶۰۳۳

نشانی سایت: www.novinceram.com**لعاب یاس فارس**

مدیر عامل: مهندس کریمی علویچه

آدرس: شیراز، کیلومتر ۳ جاده شیراز بوشهر، بعد از پل شهید علیپور،
جاده ایستگاه شماره ۱ گاز

تلفکس: ۰۷۱۳-۸۳۰۱۹۹۰



CHINI ROSE

مجتمع صنعتی اردکان (چینی رز)

مدیر عامل: مهندس ضرابیه

آدرس دفتر مرکزی: یزد، چهارراه یزد
باف، ساختمان یزدباف، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۳۵۳-۵۲۲۹۷۶۰

نشانی سایت: www.chinirose.com**مجتمع تولیدی چینی مقصود**

مدیر عامل: مهندس ایمانی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان
ولیعصر، بالاتر از پارک ساعی، نیش
کوچه ۳۴، پلاک ۱۱۵۹، طبقه ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۸۸۶۹۸۵

نشانی سایت: www.maghsoudporcelain.comSuravajin Aghigh Mining & Industrial
شرکت معدنی و صنعتی سوراوجین عقیق**معدنی و صنعتی سوراوجین عقیق**

مدیر عامل: مهندس معصومی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، سعادت
آباد، خیابان علامه شمالی، انتهای کوچه
اقبال ملی، پلاک ۱، واحد ۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۲۲۰۸۱۳۷۳

نشانی سایت: www.iranclay.com**مجتمع کارخانجات تولیدی**

توس چینی

مدیر عامل: مهدی کاملان نجار

آدرس دفتر مرکزی: مشهد،

ضلع غربی میدان احمدآباد، پلاک ۱۲

تلفن دفتر مرکزی: ۰۵۱۳-۸۴۱۶۸۸۰

نشانی سایت: www.toosporcelain.com

مفید شیشه

مدیر عامل: مهندس موسوی کریمی

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان

ولیعصر، پایین‌تر از میدان ونک، شماره

۲۵۴۰، طبقه ۷

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۶۶۴۸۱۱

نشانی سایت: www.mofidglass.comمقره سازی ایران

مدیر عامل: دکتر کورنگی

آدرس دفتر مرکزی: تهران،

خیابان بهار جنوبی، کوچه

نیلوفر، شماره ۴

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۷۷۵۲۸۶۴۲

نشانی سایت: www.iraninsulator.comشرکت مقره‌سازی ایران
«مانه»
Iran Insulator Co.مهفام جام (سهامی خاص)

مدیر عامل: مهندس دهقان

آدرس دفتر مرکزی: تهران، میدان آرژانتین، خیابان احمد قصیر،

چهاردهم غربی، پلاک ۲۶، طبقه ۳

تلفن دفتر مرکزی: ۰۲۱-۸۸۵۱۵۰۱۵

تقویم رویدادهای سرامیک

شانزدهمین همایش علمی دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی

دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۲۷ آبان ۱۳۹۸

CMAT@IROMES.IR

هشتمین کنفرانس و نمایشگاه بین‌المللی مهندسی مواد و متالورژی ایران

مصلی تهران

۱۷-۱۵ مهر ۱۳۹۸

<http://www.imatconf.com/fa/>

2nd Global Forum on Advanced Materials and Technologies for Sustainable Development (GFMAT-2)

Toronto Canada

July, 26-27 2019

<http://ceramics.org/gfmat-2-and-bio-4>

80th Conference on Glass Problems

United States

October, 28-30 2019

<http://www.glassproblemsconference.org/>

Ceramica West Africa

Lagos, Nigeria

June, 27-29 2019

<http://www.ceramicafrica.com/>

Ceramitec conference

Munich

September, 19-20 2019

<http://www.ceramitec.com/>

Unified International Technical Conference of Refractories

Japan

October, 13-16 2019

<http://unitecr2019.org/>

