



همایش ملی مهندسی مواد

گروه مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ملایر، ۲۲ تیرماه ۱۳۹۱

«گواهی ارائه‌ی مقاله»

National Conference on Materials Engineering, 12th July, 2012

Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Malayer University

"Certificate of Presentation"

سرکار خانم سیده سمية یحیی زاده

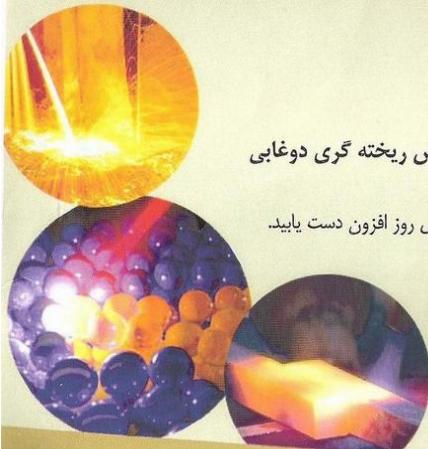
بدینوسیله گواهی می گردد مقاله جنبالی با عنوان:

تولید قطعه آلومینی با تخلخل گرادیانی (FGM) با استفاده از مواد کربنی از بین رونده به کمک روش ریخته گری دوغابی

در همایش ملی مهندسی مواد پذیرفته شد. امید است که با یاری خداوند متعال در مسیر کسب علم و دانش به موفقیت های روز افزون دست یابید.

مهندس محمد صادق عبدی

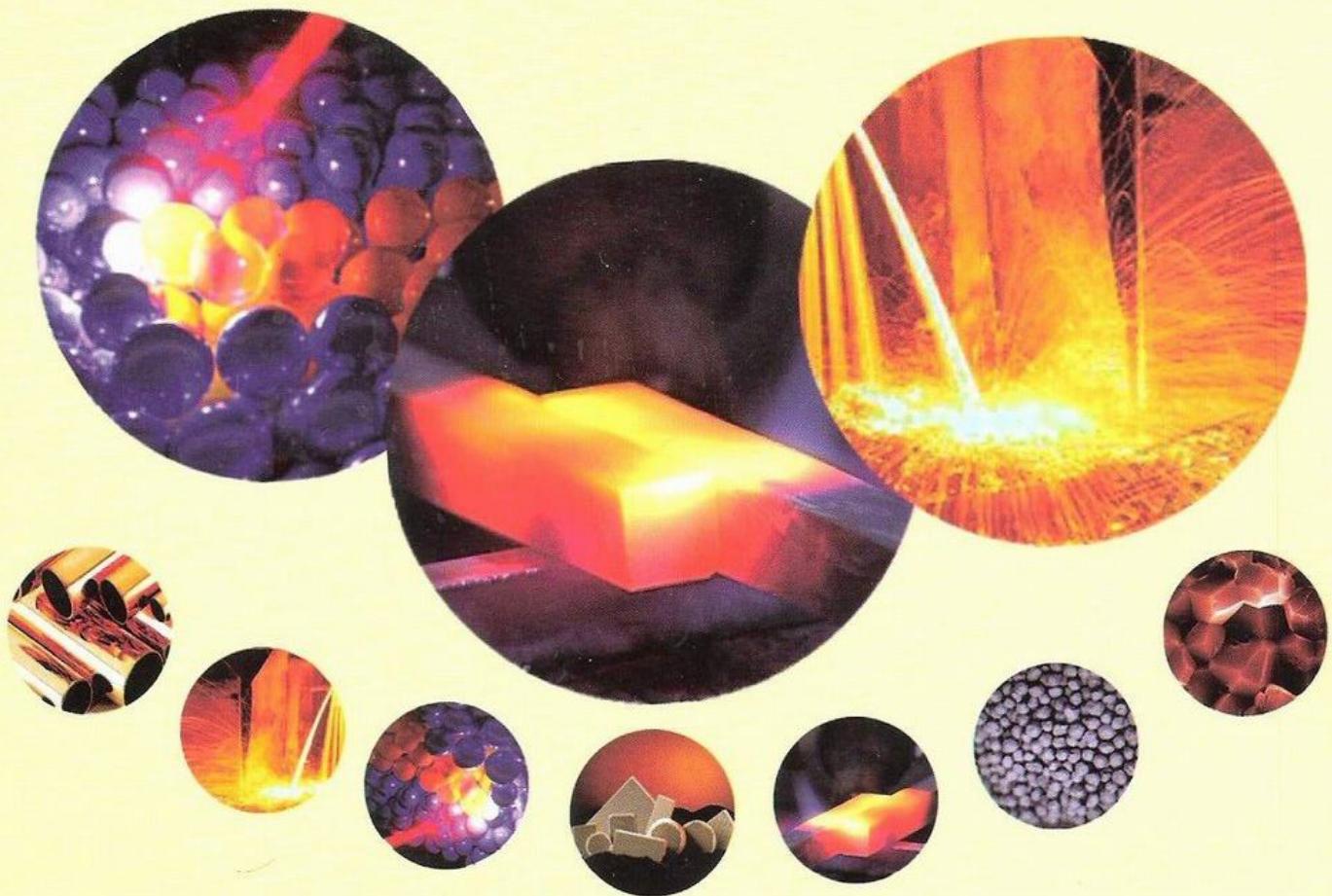
دییر همایش ملی مهندسی مواد



خلاصه مقالات

همایش ملی مهندسی مواد

۱۳۹۱ تیر ماه



گروه مهندسی مواد دانشگاه ملایر

تولید قطعه آلومینایی با تخلخل گرادیانی (FGM) با استفاده از مواد کربنی از بین رونده به کمک روش ریخته گری دوغابی

سیده سمیه یحیی زاده^{۱*}، جلیل وحدتی خاکی^۲، علیرضا کیاتی رشید^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مواد و متالورژی
- ۲- استاد گروه مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی
- ۳- دانشیار گروه مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی

bibi_ceram@yahoo.com :*

چکیده

در تحقیق حاضر تولید نمونه های متخلخل آلومینایی با الگوی گرادیانی با استفاده از زغال به عنوان عامل ایجاد تخلخل و به کمک روش ریخته گری دوغابی مورد مطالعه قرار گرفت. سوختن کربن زغال و خارج شدن مواد فرار آن در حین فرایند پخت و زینترشدن بدنه آلومینایی، باعث ایجاد تخلخل می شود. میزان تخلخل، اندازه حفرات و نحوه توزیع آن ها را می توان با میزان و مشخصات زغال مصرفی در مخلوط اولیه تهیه دوغاب کنترل نمود. به دلیل استفاده از روش ریخته گری دوغابی وجود تفاوت در چگالی زغال و آلومینا، زغال به صورت گرادیانی در قطعه توزیع شده و در نهایت پس از فرایند زینترینگ قطعه ای متخلخل با الگوی گرادیانی تولید می شود. با استفاده از تکنیک های سراموگرافی و میکروسکوب الکترونی روبشی (SEM) و با به کارگیری نرم افزار آنالیزگر تصویر (MIP)، نمونه های متخلخل تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مواد اولیه و محصولات نیز تحت آزمون های XRD و QRF قرار گرفتند. همچنین نحوه توزیع و اندازه حفرات و در نهایت تغییرات تدریجی شکل ذرات آلومینا مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بیانگرایی مطلب بودند که با افزایش میزان زغال از ۵٪ تا ۲۵٪، علاوه بر تغییر الگوی گرادیانی تخلخل از حالت پله ای به تدریجی، میزان تخلخل نمونه های آلومینایی نیز به صورت گرادیانی از ۱/۴۱٪ تا ۰/۲۹٪ افزایش پیدا نمود به علاوه ، با افزایش میزان زغال در دوغاب اولیه شکل ذرات آلومینا در قطعه متخلخل زینتر شده از گوشه دار به کروی تغییر شکل نشان داد.

کلمات کلیدی: ریخته گری دوغابی، تخلخل گرادیانی، حفره زا، آلومینا.

مقدمه *

اصطلاح مواد هدف مند در سال ۱۹۸۴ توسط دانشمندان معلم مواد منطقه سندانی زپن پیشنهاد گردیده از آن زمان به بعد مطالعات بسیاری بروای تکامل مواد متأhom حرارتی با کاربری بالا و با استفاده از فناوری تقطیعی زدیجی و ضعیفه انجمام نموده است [۳].

امروزه تولید قطعات متخلخل سرامیکی به علت مزایای آن ها نسبت به انواع پلیمری برای کاربردهای فراوانی از جمله در فلتراسیون، بیومواد، صنعت الکترونیک و صنعت هوافضا اهمیت بالایی یافته است. اصولاً قطعات متخلخل به دو دسته کلی پلیمری و سرامیکی تقسیم می شوند. قطعات متخلخل پلیمری کاربردهای زیادی در صنایع مختلف دارند لیکن به علت عدم پایداری حرارتی و شیمیایی در گستره های دمایی وسیع و فشارهای بالا و نیز استحکام کمتر، کاربرد آن ها نسبت به انواع سرامیکی کمتر است [۱].

از چنین موادی با تغییر تدریجی ترکیب شیمیایی یا ریزاساختار انتظار خواص جدید و پیشرفته می "زود" این مفهوم جدید مهندسی ریزاساختار مواد، نشانه آغاز یک تحول در علم و مکانیک مواد می باشد اتصال سرامیکها به فلزات در فن آوری های پیشرفته مانند کاربردهای سازه های دمای بالا در موتورهای احتراقی و توربین ها از اهمیت مهندسی و پژوهشی برخوردار است [۲ و ۳].

مواد هدفمند موادی هستند که در آنها خواص ماده ای را که طرف به طرف دیگر آن به صورت تدریجی تغییر می کند [۲]. در حال حاضر تمایل زیادی برای ایجاد تناسب بین خواص سرامیک های متخلخل و بافت استخوانی وجود دارد و در این رابطه تلاش های بسیار زیادی صورت پذیرفته است. این ثابت شده است که اگر مدول یانگ جایگزین با بافت استخوانی متفاوت باشد باعث ایجاد مشکل می شود بدین صورت که وقتی ضربه ای در حال انتقال به اسکلت انسان است فرد به دردی سریع تر و دردناک تر از حد و آستانه درد مبتلا می گردد، به همین جهت جایگزین ها باید خواص تابعی داشته باشند این اتفاق خصوصاً در تنفس های شدید و پرقدرت مهم تر می باشد. تفاوت میزان مدول الاستییته (مدول یانگ) بین مواد سرامیکی و بافت استخوانی یک نقطه ضعف برای این کاربرد تلقی می شود در حقیقت بدنه های سرامیکی غیر متخلخل که بر پایه ای آلومینا و زیرکونیا استوارند از این قبل اند. میزان مدول یانگ برای این مواد از ۸۰-۲۰۰ گیگا پاسکال و مدول یانگ بافت استخوانی ۷-۳۰ گیگا پاسکال بوده است. تخلخل سرتاسری، اندازه تخلخل ها و شکل آن هامی تواند در تنظیم مدول یانگ مواد سرامیکی موثر باشد. پایین ترین حد مدول یانگ و یا بالاترین میزان تخلخل بستگی به خاصیت مکانیکی جایگزین مورد استفاده دارد [۲].

تلاش ها به این نتیجه رسیده اند که با استفاده از ساختارهای هدفمند و سرامیک های متخلخل می توان از خواص مکانیکی یکنواختی بین جایگزین سرامیکی و بافت استخوانی بهره مند شد. این تلاش ها حاکی از آن است که رشد بافت استخوانی بر روی سطح جایگزین صورت می پذیرد. حل این مشکل بوسیله تولید مواد هدفمند که تخلخل های کنترل شده دارند انجام گردیده است. تخلخل های گرادیانی تاثیر مثبتی بر روی نزدیکی میزان مدول یانگ جایگزین سرامیکی با بافت استخوانی داشته است همچنین ساختار متخلخل جایگزین سرامیکی ثابت اجازه رشد از درون خود را به بافت استخوانی می دهد که بر روی سطح جایگزین به صورت لایه ای قرار بگیرد [۳].

روش های تولید مواد هدف مند

فرایند ساخت یک ماده هدفمند را می توان به دو بخش اساس تقسیم نمود. در بخش نخست سعی در ایجاد یک ساختار ناهمگن از اجزای تشکیل دهنده با موقعیت مکانی مختلف (تغییرات ندریجی) می شود. اما در بخش دوم ساختار ناهمگن باید به یک ماده توده ای متراکم (یکبارجه و فشرده) تبدیل شود [۲۴].

به طور مثال انواع روش‌های تولید مواد هدفمند عبارتند از:

-باشش پودر تر :

-ریخته گری دوغابی و ریخته گری لغزشی
-منکل دهی یودر با استفاده از نیوی گربیز از مرکز
-نه نشین سازی گربیز از مرکز
-خیلتراسیون فشاری / ریخته گری لغزشی تحت خلا

آسان ترین و در عین حال بر کاربردترین روش برای ساخت قطعات متخلخل آلومینیمی با شرایط مطلوب روش قالب گبری گچی است که مرایای بسیاری در مقایسه با دیگر روش‌ها دارد. زیرا در این روش می‌توان قطعاتی با قطر و ضخامت دلخواه را تولید نمود. هزینه این روش پایین بوده و نیاز به تجهیزات پیچیده ای ندارد. همچین می‌توان ساختار دارای شبیه اندازه حفره در ضخامت را توسط پارامترهای پراکنده‌گی^۱ کنترل کرد.

یکی از مهم‌ترین موارد در روش ریخته گری دوغابی، قالب گچی مورد استفاده است. این قالب باید دارای زبری سطحی مناسبی بوده و سرعت جذب آب کنترل شده ای داشته باشد.

مواد و روش تحقیق

۱. سیستم قالب گیری گچی: سیستم طراحی شده با توجه به نیازها و امکانات موجود، متشکل از یک قالب گچی بوده که از دو قسمت تشکیل شده است که آب از کف و دیواره قالب جذب می‌شود و اگر نمونه‌های کف قالب مورد بررسی قرار گیرند کرادیان تخلخل عرضی و اگر نمونه گیری از دیواره قالب صورت پذیرد تخلخل‌ها بصورت کرادیان شعاعی نمایش داده خواهند شد. ما در این تحقیق نمونه‌های کف قالب که بصورت فرصل (استوانه‌ای) هستند را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

¹ dispersion

-۲- مواد اولیه: با توجه به مطالب ذکر شده، مواد اولیه جهت تهیه سوسپانسیون آلومینا به صورت زیر انتخاب شد:

• پودر آلفا-آلومینا

• پودر زغال

• ماده معلق کننده (Tiron)

• چسب (PVA)

• آب مقطّر

-۳- تهیه قطعه آلومینایی: مراحل تهیه نمونه های متخلخل آلومینایی به طور خلاصه عبارتند از:

۱- تهیه سوسپانسیون مخلوط پودری آلومینا-زغال

۲- ریخته گری دوغاب در قالب گچی

۳- خشک کردن نمونه های خارج شده از قالب

۴- تف جوشی نمونه های خشک شده

-۴- تهیه سوسپانسیون پودر آلومینا: تهیه سوسپانسیون پودری به روش زیر انجام شد:

۱. ابتدا پودر آلومینا و تیرون به عنوان تعلیق ساز به آب اضافه شدند و تحت هم زدن توسط همزن مغناطیسی قرار گرفتند.

۲. محلول ۲ درصد وزنی از PVA به عنوان چسب به مخلوط اضافه شد و تحت همزدن توسط همزن مغناطیسی قرار گرفت و درنهایت مقادیر متفاوتی از پودر زغال (۵ تا ۲۵ درصد وزنی) به عنوان حفره زاضافه شد [۶].

۳. در این مرحله، برروی دوغاب به مدت ۳۰ دقیقه عملیات آسیاب کاری توسط آسیاب گلوله ای^۲ انجام و سپس ریخته گری در قالب گچی صورت گرفت.

-۵- ریخته گری دوغاب در قالب گچی: دوغاب آماده شده بدون اتلاف وقت به دلیل جلوگیری از ته نشین شدن احتمالی ذرات پودری در ظرف، به آرامی درون قالب گچی ریخته شد. ذکر این نکته ضروری است که قالب های گچی مورد استفاده قرار گرفته، جهت یکسان سازی سرعت جذب آب با یک نسبت گنج به آب معینی ساخته

² ball mill

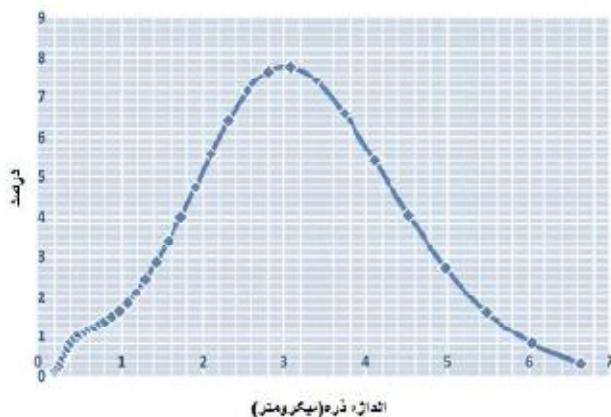
شده و پس از بک بار استفاده در آزمایش در دمای ۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت نگه داری می شدند تا آب جذب شده نخیر شده و باعث کاهش سرعت جذب فالب نشود [۹].

۶- خشک کردن و تف جوشی نمونه ها: نمونه های بدست آمده از مرحله ریخته کری، پس از مدت زمان حدود ۲۰ ساعت و ته نشینی کامل ذرات پودری از فالب خارج و در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت فرار گرفتند. پس از این مرحله، سیکل تف جوشی مطابق دستورالعمل زیر و در دماهای پیش بینی شده اعمال شد نمونه ها با سرعت ۱۰ درجه بر دقیقه، از دمای اتاق تا دمای ۱۴۰ درجه سانتی گرادگرم شده، سپس به مدت ۱ ساعت در آن دما نگهداری و در نهایت با همان سرعت تا دمای اتاق سرد شدند.

نتایج و بحث

• پودر آلومینا

پودر مورد استفاده تحت آزمون های LPS ، XRF قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمون LPS در شکل ۱ آورده شده است. مطابق نمودار، توزیع اندازه ذرات پودر به شکل زیر است: ۹۵٪ کمتر از ۰/۵ میکرون، ۷۰٪ کمتر از ۳ میکرون، ۴۲٪ کمتر از ۲ میکرون، ۱۷٪ کمتر از ۱ میکرون و حدود ۱۰٪ کمتر از ۰/۷ میکرون. بنابر این دینه می شود که ۵۰ درصد از پودر مورد استفاده اندازه ذره ای کمتر از حدوداً ۲/۳ میکرون دارد. این مشخصه که اصطلاحاً کات آف^۳ پودر نامیده می شود [۵].



شکل ۱: نمودار توزیع اندازه ذره پودر آلومینایی مورد استفاده.

^۳ Cut off

تابع آزمون XRF در جدول ۱ آورده شده است. مطابق نتایج به دست آمده بده می شود که پودر مورد استفاده دارای درصد خلوصی بالاتر از ۹۶٪ درصد است که به منظور کاربرد در ساخت قطعه نسبتاً مناسب است. وجود خلوص بالا در پودر مورد استفاده باعث می شود، قطعه تولید شده دارای مشخصات مکانیکی مناسب و توزیع اندازه تخلخل یکنواخت باشد. وجود ناخالصی در سیستم باعث اختلال در فرآیند ریترن کردن نمونه و ایجاد تخلخل های با اندازه ای خارج از بازه مورد نظر می شود.

جدول ۱: نتایج تجزیه عنصری و فزی توسط آزمایش XRF نمونه پودری آلومینا.

آنالیز عنصری		آنالیز فازی	
۵۱/۸۸	Al	۹۸/۰۳	Al ₂ O ₃
۰/۲۵۱	Na	۰/۳۳۸	Na ₂ O
۰/۰۴۹	Si	۰/۱	SiO ₂
۰/۰۲۱	S	۰/۰۵۲	SO ₃
۰/۰۲۵	Ca	۰/۰۳۴	CaO
۰/۰۱۸۶	Fe	۰/۰۲۶۰	Fe ₂ O ₃
		۱/۳۷	LOI
		۱۰۰	Total

• پودرزغال

به عنوان عامل ایجاد کننده حفره استفاده شده است. زیرا پودرزغال در هنگام سوختن با اکسیژن هوا، گازها و مواد فرار زیادی تولید می کند که در بدنه آلومینایی تولید شده ایجاد تخلخل می نماید. مشخصات زغال مصرفی به شرح ذیل است.

جدول ۲: آنالیز زغال مصرفی

%	مواد فرار
٪۳	رطوبت
٪۷	خاکستر
٪۸۴	کربن ثابت

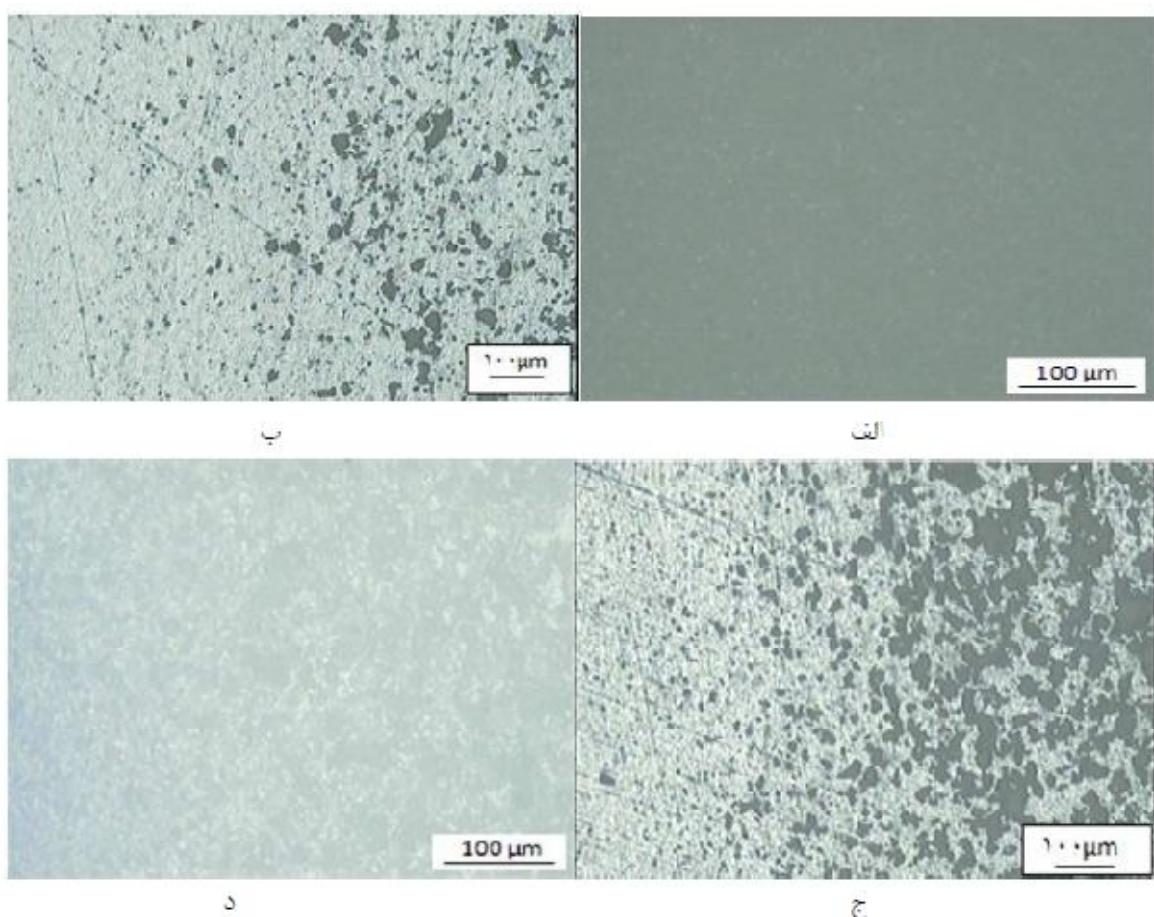
مشخصه یابی نمونه های نهایی و نتیجه گیری

ابتدا کد گذاری نمونه های صورت ذیل ارایه می گردد:

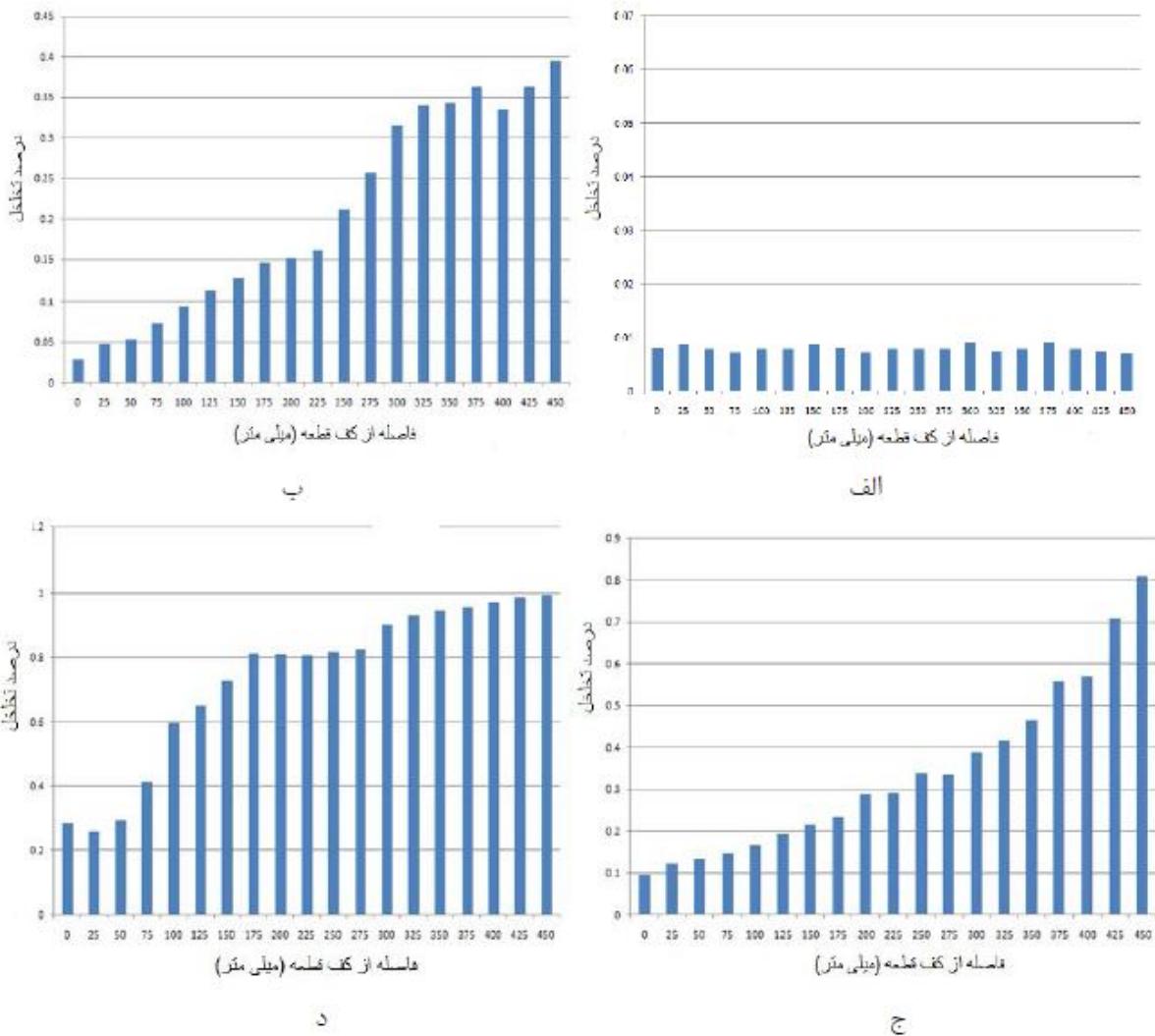
از نمونه C₂₅ تا C₀ که در اینجا حرف C ابتدای کلمه کربن و عدد مذکور در صد زغال اضافه شده می باشد.

C₂₅-C5-C15-C25

سراموگرافی علم و هنر برای ارزیابی و سنجش آزمایش و آماده سازی مبکروساخترهای سرامیکی می باشد. [۷].
شکل ۲ تصاویر مکروسکوب نوری که به روش سراموگرافی آماده شده اند را نمایش می دهد.



شکل ۲: تصاویر سراموگرافی نمونه های حاوی (الف) ۰٪، (ب) ۵٪، (ج) ۱۵٪، (د) ۲۵٪ زغال



شکل ۳: نمودار میله ای بیانگر درصد تخلخل ها بر حسب فاصله بر اساس نرم افزار پردازش گر تصویر برای نمونه های حاوی زغال.
 الف) ۰٪ ب) ۱۵٪ ج) ۲۵٪

همانطور که ملاحظه می شود با افزایش فاصله از چپ به راست، درصد تخلخل ها به صورت گرادیانی افزایش می یابد که بیشترین میزان تخلخل در نمونه C25 (۳-د) و همانگونه که انتظار می رفت کمترین میزان تخلخل در نمونه C (۳-الف) مشاهده گردید. همانطور که ذکر شد نمودارها توسط نرم افزار پردازش گر تصویر (MIP) رسم گردیده اند. در نمودارهای شکل ۳ همانطور که ملاحظه می کنید میزان درصد تخلخل ها بر حسب فاصله در یک نمودار میله ای رسم شده است ولی شکل نمودارها با یکدیگر متفاوتند.

نمودار شکل (۳-ج) حالت گرادیانی به صورت یکنواخت را کاملاً نمایش می دهد ولی در نمودار (۳-ب) در ابتدا صعودی ولی بعداز ۳۰۰ mm حالت پله ای را نشان می دهد. در نمودار (۳-د) داده ها به صورت نمودار تقریباً پله ای نشان داده شده اند. به علت اینکه میزان زغال بسیار افزایش پیدا کرده است ابتدا لایه ای که میزان زغال آن بسیار کم است

سپس لایه دوم که میزان متوسطی از زغال را دارد و یک منطقه‌ای در انتهای سمت راست شکل است که میزان زغال در آن لایه بسیار بالاتر است.

در نمودار(۳-الف) نمونه فاقد زغال است و فقط تخلخل هایی که ناشی از تفاوت اندازه ذرات آلومینیا بوجود آمده اند را نشان می‌دهد. فضاهای خالی ایجاد شده ناشی از در کنار یکدیگر قرار گرفتن ذرات آلومینیا با دانه بندی متغیر است. در مقایسه اشکال (۲-ب) و (۲-ج) مشاهده می‌کنید که تجمع حفرات رادر سمت راست شکل شاهد هستیم. در شکل(۲-ج) مقدار حفرات بیشتر از (شکل۲-ب) است که ناشی از میزان بیشتر مقدار زغال اضافه شده در دوغاب اولیه است. ولی سمت راست شکل سطح قطعه وچپ کف قطعه ریخته گری شده را نشان می‌دهد و براساس قانون استوک وزن کمتر زغال نسبت به آلومینیا باعث می‌شود که زغال بر روی سطح دوغاب قرار بگیرد و در نهایت بر روی سطح قطعه تجمع کند. براساس قانون دوم فیزیک می‌دانیم که مواد از نواحی با غلظت بیشتر به نواحی با غلظت کمتر نفوذ می‌کنند (نفوذ روبه پایین)، اما در این اشکال همچنان زغال بروی سطح قطعه بوده و تخلخل‌ها نیز در همان سطح تجمع بیشتری دارند.

زیرا که وقتی قطعه در حال تف جوشی است گازها و مواد فرار در حال خروج از قطعه آلومینیایی هستندان سمت از قطعه که دارای زغال کمتری است و با فاقد زغال است چگال‌تر و فشردگی آن بیشتر است و به عنوان مانع برای خروج مواد فرار عمل می‌کند به همین دلیل مواد فرار از سمت متخلف خارج می‌شوند و این باعث تجمع تخلخل‌ها در قسمتی که میزان زغال بیشتری دارد می‌شود و دانسته آن قسمت نسبت به ماقبی قسمت‌های قطعه کمتر است.

با استفاده از استاندارد ASTM : Designation : C 373-88 : با استانداردی برای به دست آوردن درصد رطوبت و میزان جذب آب و درصد تخلخل بدنده‌های سفید پخت می‌باشد. درصد تخلخل‌ها به قرار زیر بدست می‌آید :

$$\%P = \left[\frac{M-D}{M-S} \right] * 100$$

D : وزن خشک (قطعه را در خشک کن در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد قرار داده تا هیچگونه رطوبت خارجی در آن وجود نداشته باشد).

M : وزن اشباع (قطعه به مدت ۵ ساعت در آب در حال جوش و ۲۴ ساعت در آب معمولی قرار می‌گیرد بطوریکه سطح آن کاملا پوشانده شود تا تمامی تخلخل‌های آن با آب پر شود).

S : وزن غوطه وری : (با استفاده از ترازوی ارشمیدس وزن غوطه وری قطعه را بدست می‌آوریم).
P : تخلخل ظاهري [۱۱].

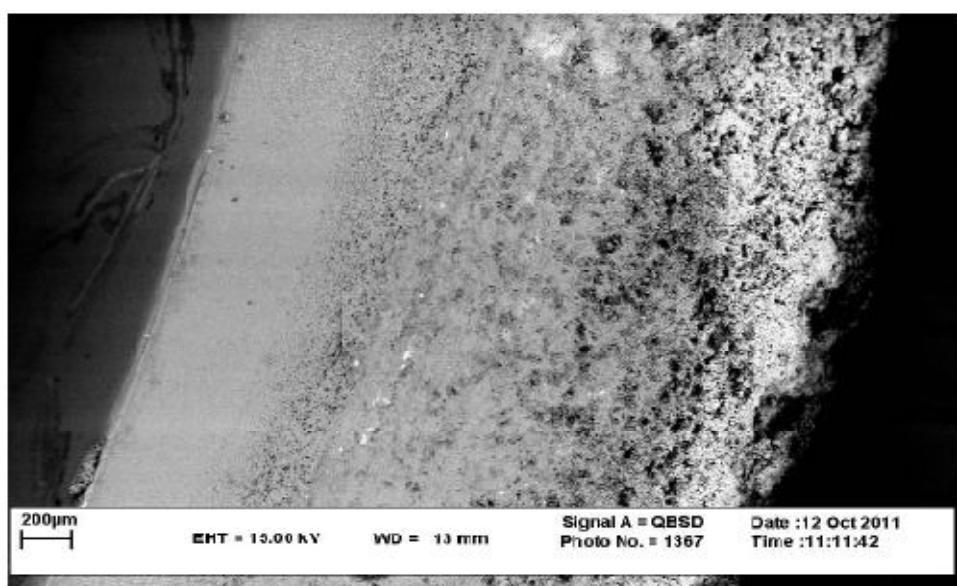
جدول ۲. میزان درصد تخلخل نمونه ها

درصد تخلخل	کد نمونه
۰/۳۱	C1
۱/۴۱	C5
۲/۵۸	C15
۲۹/۸۷۵	C25

مقادیر ارایه شده در جدول ۳ موید این مطلب هستند که با افزایش رغال به عنوان عامل حفره زا درصد تخلخل های محاسبه شده با استفاده از روش استاندارد ذکر شده در بالا افزایش می یابند.

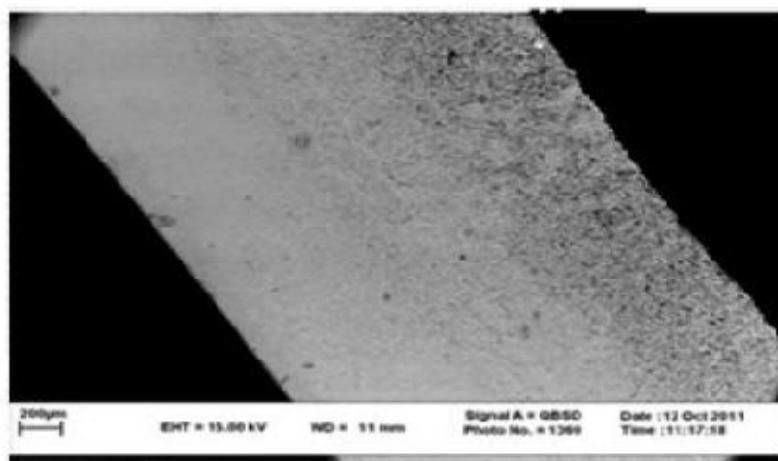
بررسی تخلخل ها نوسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

در اشکال زیر تصاویر SEM نمونه های C1، C5، C15 و C25 نمایش داده شده است. همانطور که در عکس شماره ۴ مشاهده می کنید تخلخل ها از سمت راست به چپ کاهش می یابد

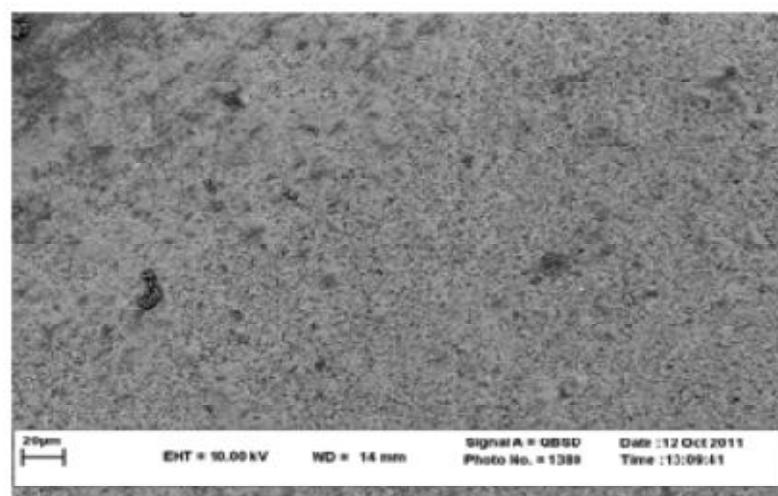


شکل ۴. تصویر SEM نمونه C5

همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می شود مقادیر کمی تخلخل بر روی سطح قطعه وجود دارد که ناشی از تفاوت دانه بندهی ذرات آلومینیا می باشد که پس از زینتریگ مشاهده می شود. ولی در شکل ۶ درون قطعه C₂ هیچگونه تخلخلی وجود ندارد.

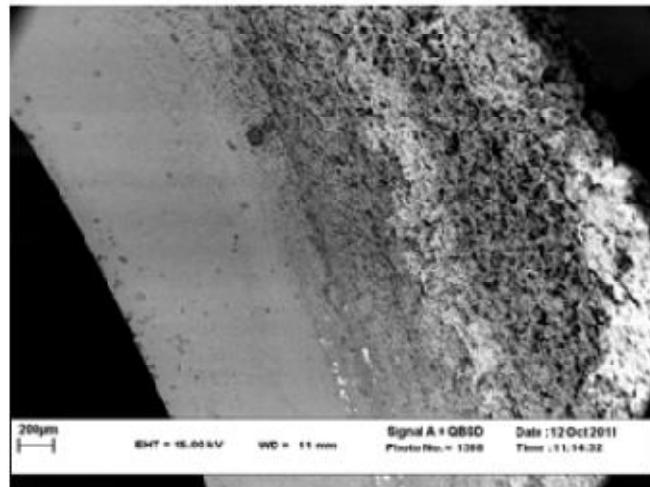


شکل ۵. تصویر SEM نمونه C₂.

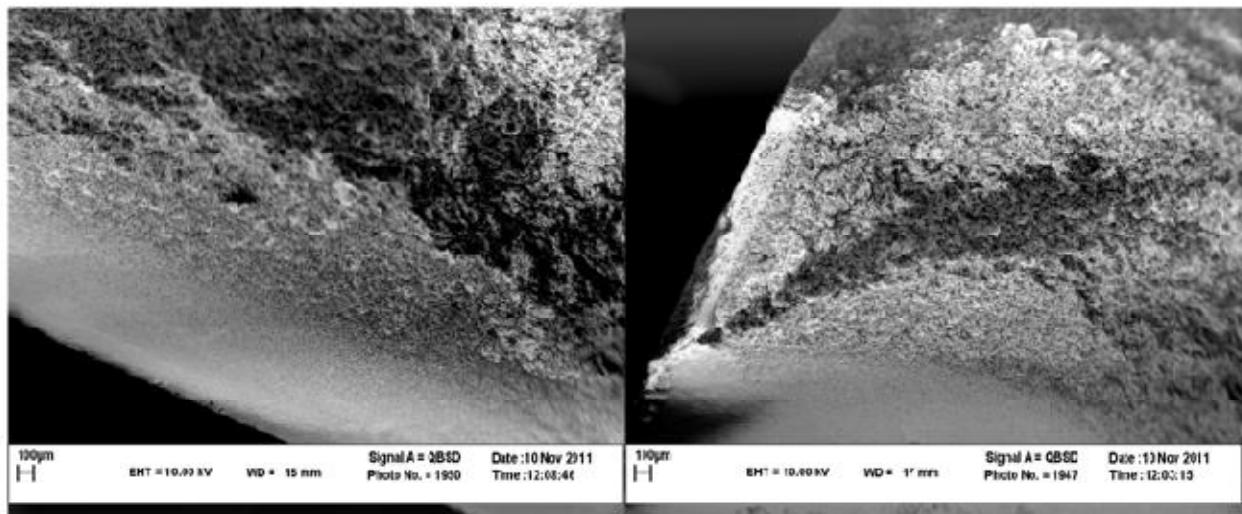


شکل ۶. تصویر SEM نمونه C₂.

همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می شود تخلخل ها از سطح قطعه به سمت کف قطعه کاهش می یابند.

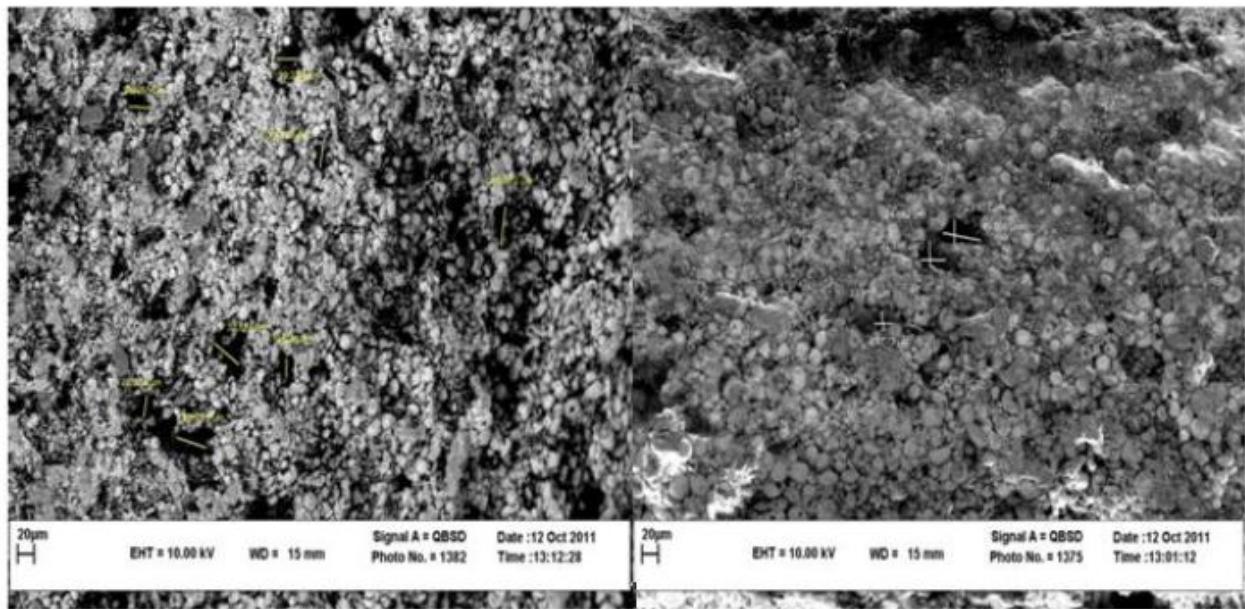


شکل ۷. تصویر SEM نمونه C15.



شکل ۸. تصاویر SEM نمونه C25 از دو نمای متفاوت.

همانطور که مشاهده می شود تخلخل ها به صورت گردابیانی از سطح به گف قطعه کاهش می یابند. با افزایش میزان زغال تخلخل ها نیز افزایش می یابند و بیشترین میزان تخلخل متعلق به نمونه C25 است و کمترین میزان به نمونه C7 متعلق دارد. در تصویر بالا مشاهده می کنید که در سمت راست قطعه تخلخل ها تجمع کرده اند و به سمت چپ که در حال حرکت هستیم از میزان تخلخل ها کاسته می شود. فصل مشترک بین مقطعه متخلخل و غیر متخلخل ازوضوح خوبی برخوردار است ولی هیچگونه ترکی در فصل مشترک مشاهده نمی شود. به واسطه اینکه از ذرات آلومینا و زغال در یک محدوده از دانه بندی استفاده شده و هر دو کشش سطحی نزدیک بهم دارند، بس هیچگونه تنفس ذخیره شده ای در قطعه برای بروز نرک وجود ندارد و در انتهای سمت چپ قطعه مقدار اندکی تخلخل مشاهده می شود.



شکل ۹. تماش اندازه طول تخلخل ها.

در دو تصویر (۹-الف) و (۹-ب) نشان داده شده در بالا که مربوط به دو قطعه با میزان زغال متفاوت است، همانطوری که ملاحظه می کنید اندازه تخلخل ها تقریبا در یک محدوده خاصی است زیرا که پودر آلمینیا و زغال مورد استفاده از نظر دانه بندی به هم نزدیک بوده پس در نتیجه اندازه تخلخل های به وجود آمده نیز به صورت یکنواخت در کل قطعه گستردگی شده اند ولی در بعضی از قسمت ها شاهد اندازه تخلخل های بزرگ تری هستیم که این تخلخل ها ناشی از تجمع دو یا سه تخلخل با یکدیگرند و این اتفاق بواسطه این رخداده است که هنگامیکه گازها و مواد فرارناشی از سوختن کربن زغال در حال خارج شدن از قطعه آلمینیایی هستند باعث مرتبه شدن این حفرات به یکدیگر می شوند. هنگامی که میزان زغال بالا باشد، تجمع این حفرات زیادتر است.

با توجه به اینکه دستگاه BET قابلیت اندازه گیری تخلخل هایی با ابعاد نانو را دارا می باشد و با توجه به مقادیر طول تخلخل های اندازه گیری شده در شکل ۹ که همگی در حد میکرومتر می باشند به همین دلیل دستگاه BET قادر به اندازه گیری تخلخل های این نمونه ها نمی باشد.

ریزساختار

همانطور که در اشکال ۱۱ تا ۱۴ مشاهده می کنید ذرات در ابتدا گوشه دارو پخ دار هستند. به تدریج با افزایش زغال تمايل به کروی شدن در آن ها افزایش می یابد که در نمونه C25 که بیشترین میزان زغال را دارد ذرات به شکل کاملا کروی تبدیل شده اند. به نظر می رسد عاملی که باعث تفاوت در مورفولوژی ذرات شده است دمای محیط انجام واکنش

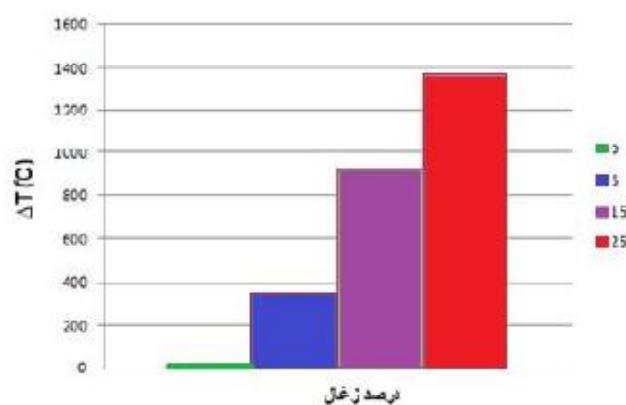
می باشد. هرچه میزان زغال بیشتر باشد دمای قطعه در حین زینترینگ به واسطه سوختن کربن بالاتر است. برای تایید این گفته و با در نظر گرفتن شرایط آدیاباتیک در جدول ۴ مشاهده می شود که با افزایش میزان زغال دمای انجام زینتر کردن افزایش قابل توجهی پیدا می کند.

هنگامیکه اکسپرسون کافی در محیط انجام واکنش وجود داشته باشد واکنش زیر صورت می پذیرد [۱۲] :



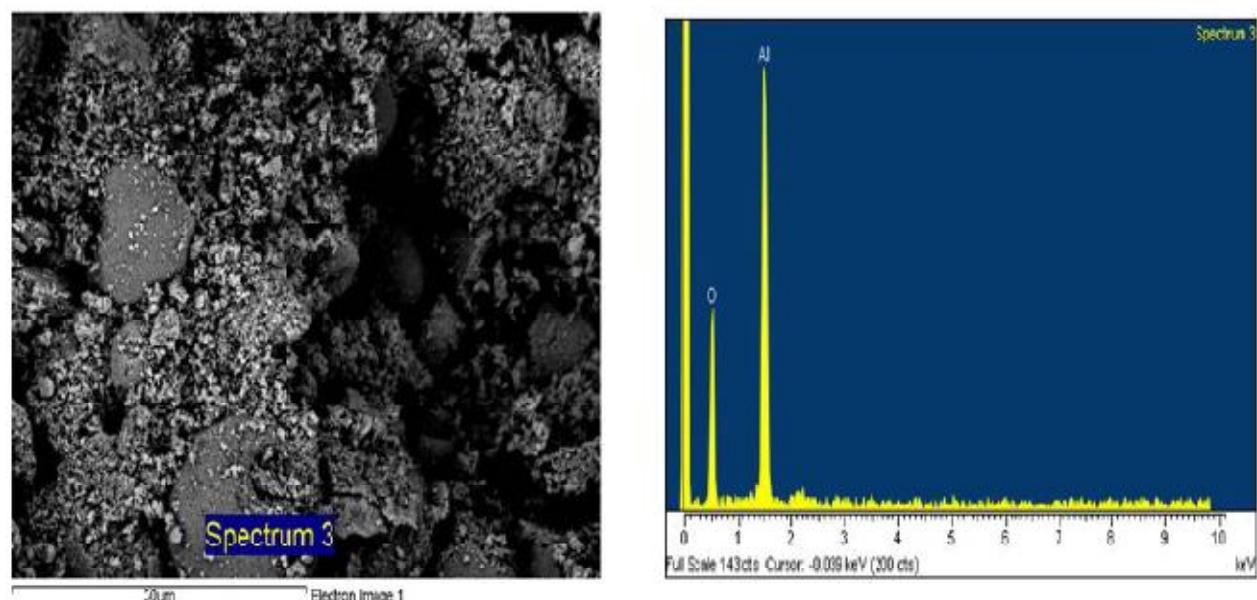
جدول ۴: اطلاعات ترمودینامیکی واکنش (۱).

Wt.%C	mol C	mol Al ₂ O ₃	ΔH 1400°C (J)	T ad (°K)
0	0	1	0	1400
5	0/309	0/7	-36118	1765/15
15	0/6	0/4	-70103	2327/9
25	0/739	0/261	-8625	2768/97

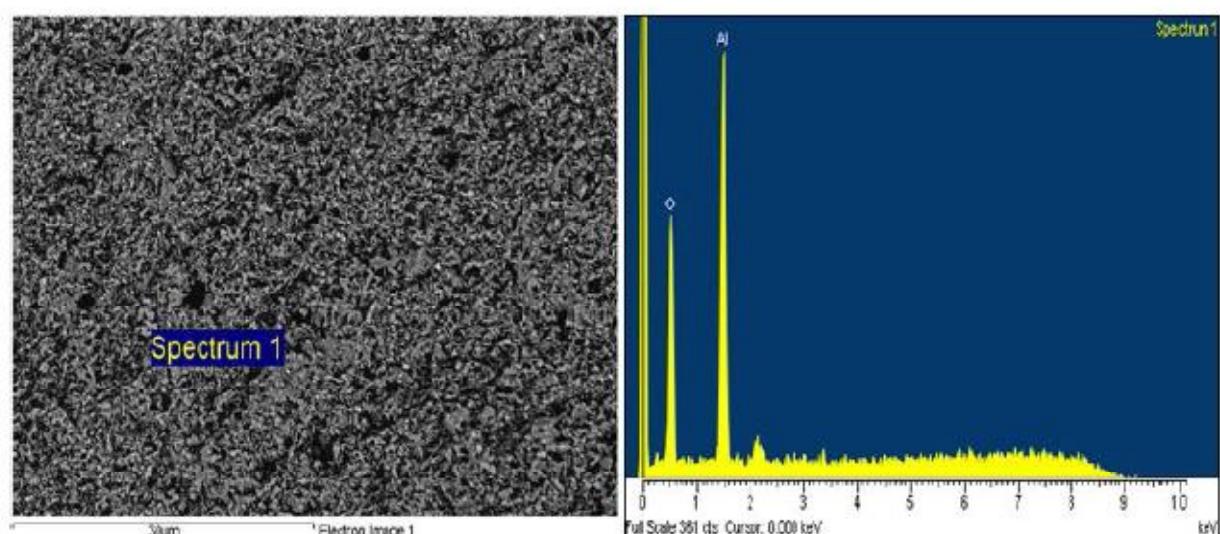


شکل ۱۰: نمودار میله‌ای نمایانگر روابط بین درصد زغال و افزایش دما.

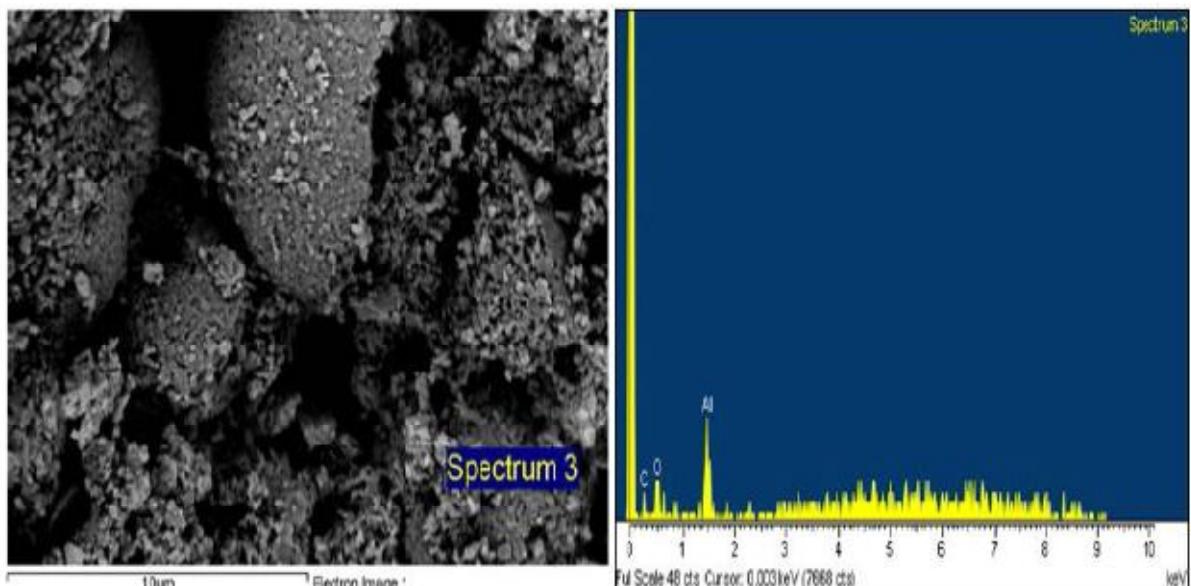
همانطور که در جدول ۴ مشاهده می کنید میزان دمای قطعه به طور قابل ملاحظه افزایش می یابد با افزایش میزان زغال از ۵٪ تا ۲۵٪ بافرض اینکه تمام گرمای حاصل از سوختن کربن صرف گرم کردن قطعه شود شکل ذرات به سمت کروی شدن تغییر می کند.



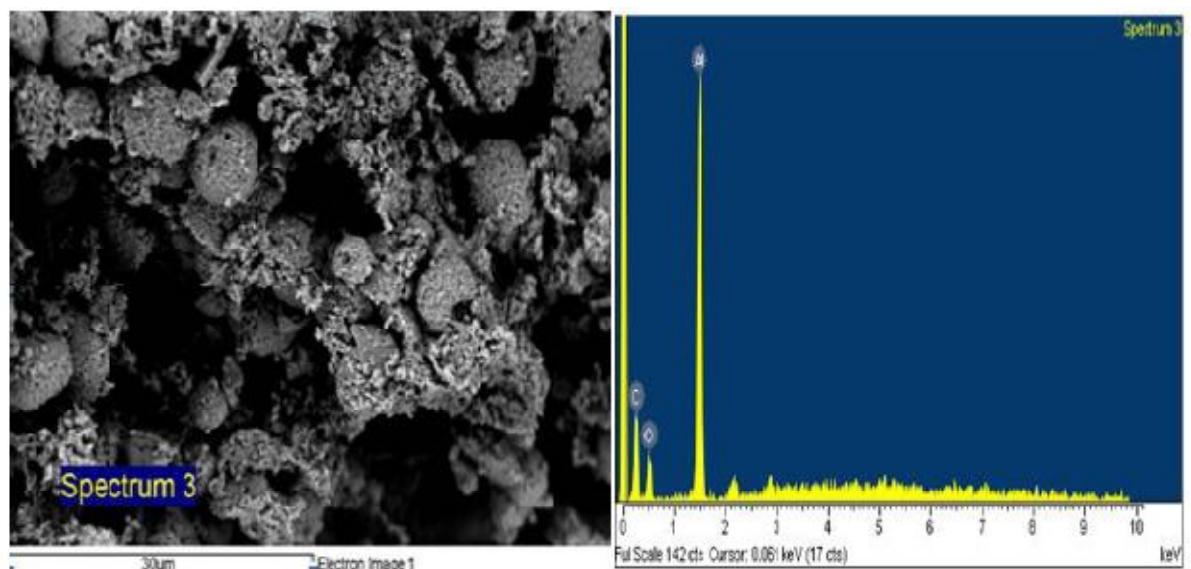
شکل ۱۱. نمودار EDX نمونه C5.



شکل ۱۲. نمودار EDX نمونه CO.

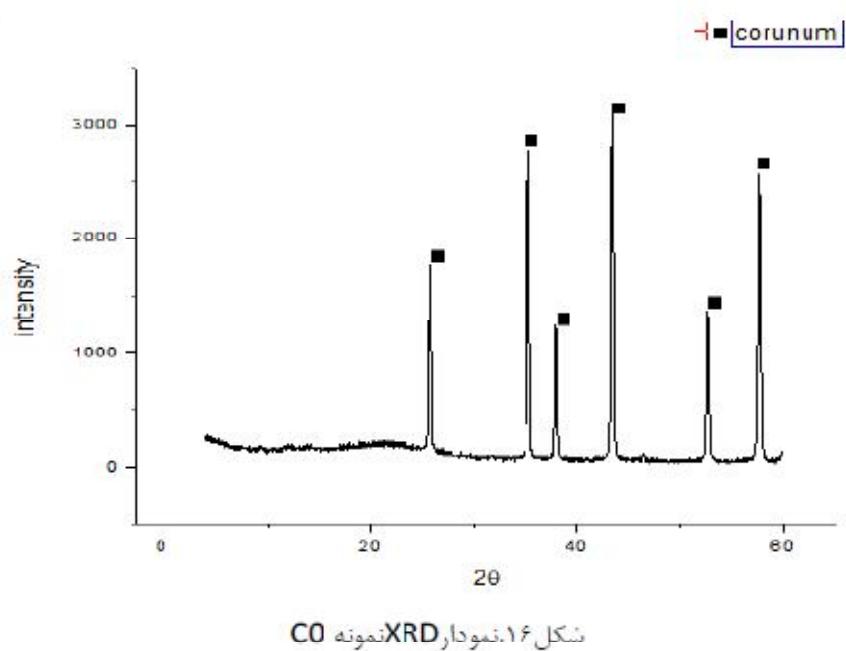
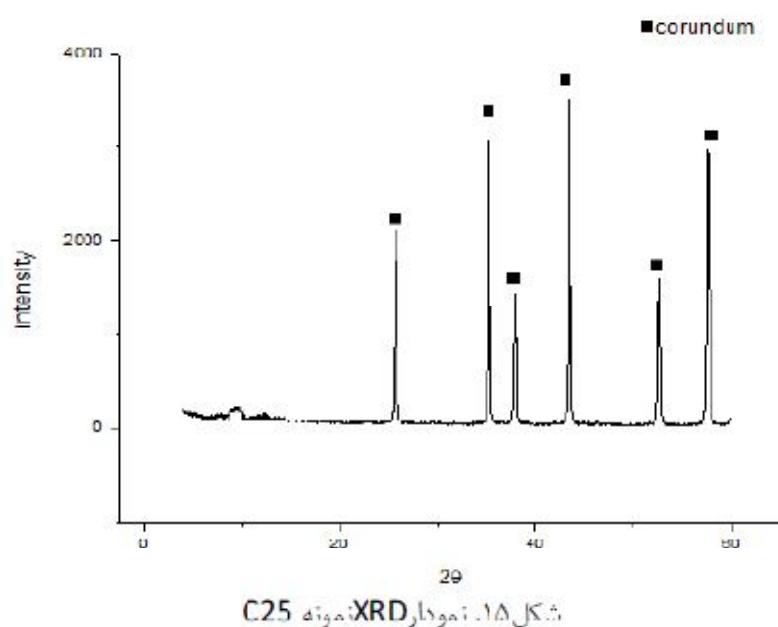


شکل ۱۳. نمودار EDX نمونه C15



شکل ۱۴. نمودار EDX نمونه C25

جواب نتایج XRD نیز تایید کننده اطلاعات گزارش شده از نمودارهای EDX می باشد که هیچگونه ترکیبی بین آلمینیا و کربن ایجاد نمی گردد. در نتایج XRD دو نمونه قطعه ساخته شده یکی C25 و دیگری C25 زینترشده در دمای ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد هیچگونه تفاوتی مشاهده نمی شود و ما هیچ ترکیبی حاصل از واکنش بین اکسید آلمینیوم و زغال را نداریم و بعد از زینتر کردن فقط کراندوم حاصل گشته است.



نتیجه گیری

در این تحقیق، تولید قطعات آلومینایی متخلخل با الگوی گرادیانی با استفاده از تکنیک ریخته گری دونغایی و با به کارگیری ماده از بین رونده زغال مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق را می‌توان به مورت زیر خلاصه نمود:

۱- با توجه به تفاوت در سرمتش نشین شدن زغال و آلومینادر روش ریخته گری دونغایی امکان تولید قطعات باگرادیان تخلخل محقق شد.

۲- با تغییر میزان زغال در دونغاب اولیه، الگوی گرادیانی بودن تخلخل تغییر کرده و می‌تواند بسته به میزان زغال به مورت لایه‌ای (تدریجی) و یا مداوم تغییر کند.

۳- با افزایش میزان زغال در دونغاب اولیه، میزان تخلخل‌ها در قطعه نهایی زینتر شده افزایش یافت. با افزایش زغال از صفرتا ۲۵٪ میزان تخلخل‌ها نیز از ۰/۳۱٪ به ۰/۲۹٪ افزایش یافتند.

۴- مورفولوژی ذرات آلومینا با افزایش زغال تغییر کردند. بدین صورت که با افزایش دمای ناشی از سوختن زغال حین عمل زینترینگ ذرات از اشکال گوشه دار به سمت ذرات کروی شکل تغییر شکل دادند.

۵- در نمونه حاوی ۱۵٪ زغال (C15)، تخلخل‌ها به صورت گرادیانی تغییر کرده و از ۰/۱٪ کف قطعه تا ۰/۸٪ در سطح قطعه افزایش یافته است.

منابع

- ۱- P. M. Biesheuvel and H. Verweij, "Design of ceramic membrane supports: Permeability, Tensile Strength and Stress", *J. Mem. Sci.*, 156 (1999), 141-152.
- ۲- B. Kieback, A. Neubrand, H. Riedel, "processing technique for functionally graded materials, Materials Science and Engineering", A 362(2003) 81-105.
- ۳- ح. عالی و ح. غیابوند، "راهنمای جامع مواد پیشرفته" انتشارات جهان جام جم، ۱۳۸۶.
- ۴- B. Kieback, A. Neubrand, H. Riedel, "processing technique for functionally graded materials, Materials Science and Engineering", A 362(2003) 81-105
- ۵- C. Falamaki and J. Veysizadeh, "Comparative study of different routes of article processing on the characteristics of alumina functionally graded microfiller/memberane support" .*J. Mem. Sci.*, 280(2006), 899-910 .

- ۱- C.A.Finch , "Polyvinyl alcohol" wiley Pub.,1 Edi, 1973
- ۲- G.D.Quinn and R.C.Bradt,"On the Vickers Indentation Fracture Toughness Test" J.Am.Ceram.soc (Mar2007)
- ۳- ف.گلستانی فرد "روش های شناسایی و آنالیزم مواد"
- ۴- ی.خراری "ابزار شناسایی ساختار مواد"
- ۵- Nelson,d.Roy,"Physics of impregnation" (2000)
- ۶- ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS Volum 15.02 Glass,Ceramic Whitewares.
- ۷- K.Maca , P.Dobsak, A.R.Boccaccini "Fabricatio of graded porous ceramics using alumina-carbon powder mixtures" (2000).

تولید قطعه آلومینایی با تخلخل گرادیانی (FGM) با استفاده از مواد کربنی از بین رونده به کمک ریخته گری دوغابی

سیده سمیه یحیی زاده^{۱*}، جلیل وحدتی خاکی^۲، علیرضا کیانی رشید^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مواد و متالورژی
- ۲- استاد گروه مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی
- ۳- دانشیار گروه مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی

bibi_ceram@yahoo.com :*

چکیده

در تحقیق حاضر تولید نمونه های متخلخل آلومینایی با الگوی گرادیانی با استفاده از زغال به عنوان عامل ایجاد تخلخل و به کمک روش ریخته گری دوغابی مورد مطالعه قرار گرفت. سوختن کربن زغال و خارج شدن مواد فرار آن در حین فرایند پخت و زینترشدن بدنه آلومینایی، باعث ایجاد تخلخل می شود. میزان تخلخل، اندازه حفرات و نحوه توزیع آن ها را می توان با میزان و مشخصات زغال مصرفی در مخلوط اولیه تهیه دوغاب کنترل نمود. به دلیل استفاده از روش ریخته گری دوغابی وجود تفاوت در چگالی زغال و آلومینا، زغال به صورت گرادیانی در قطعه توزیع شده و در نهایت پس از فرایند زینترینگ قطعه ای متخلخل با الگوی گرادیانی تولید می شود. با استفاده از تکنیک های سراموگرافی و میکروسکوب الکترونی روبشی (SEM) و با به کارگیری نرم افزار آنالیزگر تصویر (MIP)، نمونه های متخلخل تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مواد اولیه و محصولات نیز تحت آزمون های XRD و XRF قرار گرفتند. همچنین نحوه توزیع و اندازه حفرات و در نهایت تغییرات تدریجی شکل ذرات آلومینا مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بیانگرایی مطلب پویاند که با افزایش میزان زغال از ۵٪ تا ۲۵٪، علاوه بر تغییر الگوی گرادیانی تخلخل از حالت پله ای به تدریجی، میزان تخلخل نمونه های آلومینایی نیز به صورت گرادیانی از ۴۱٪ تا ۸۷۵٪ افزایش پیدا نمود. به علاوه، با افزایش میزان زغال در دوغاب اولیه شکل ذرات آلومینا در قطعه متخلخل زینتر شده از گوشه دار به کروی تغییر شکل نشان داد.

کلمات کلیدی: ریخته گری دوغابی، تخلخل گرادیانی، حفره زا، آلومینا.