فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۲، تابستان ۱۳۹۵

اثر افزودن اکسیدهای (ZrO_2، Cr_2O_3، Nb_2O_5) بر خواص فیزیکی سرامیک‌های آلومینایی

حسین خوارزمی پور*[۱]، خلیل رنجبر[۲]

[۱] گروه مهندسی مواد و متالورژی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، شرکت ملی حفاری ایران، اهواز

[۲] گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه شهید چمران، اهواز

* hossienkharazmipoor953@gmail.com

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۱۳۹۵/۶/۶

پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۲۳

کلید واژه:

اکسیدکروم، اکسیدنیوبیوم، اکسیدزیرکونیوم ، تف جوشی، ریزساختار

چکیده:

در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر افزودن اکسیدکروم، اکسیدزیرکونیوم و اکسیدنیوبیوم بر رفتار تف‌جوشی و ریزساختار سرامیک‌های آلومینا از روش آسیاکاری مکانیکی استفاده گردید. بدین منظور از پودر آلومینا به عنوان مواد اولیه و از پودرهای اکسیدکروم، اکسیدزیرکونیوم و اکسیدنیوبیوم به عنوان ماده افزودنی استفاده شد. اکسیدکروم در حد ۰/۶ درصدوزنی، اکسید زیرکونیوم در حد۱۰ درصدوزنی و اکسیدنیوبیوم در حد ۱ درصد وزنی به نمونه آلومینایی افزوده شد. پودرهای کامپوزیت به صورت محوری تحت فشار ۳۰۰MPa درون قالب فلزی شکل‌دهی قرار گرفت، سپس نمونه‌ها در دمای ۱۳۰۰ °C تا ۱۵۰۰ °C به مدت دو ساعت درون کوره تحت تف جوشی قرار گرفتند. در شناسایی فازها از پراش اشعه ایکس و برای بررسی ریزساختارها از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که با افزودن این اکسیدها به نمونه چگالی تف جوشی و سختی افزایش یافته و به حداکثر مقدار خود در دمای ۱۵۰۰ °C می‌رسد. بیشترین چگالی و سختی مربوط به نمونه آلومینا- اکسیدنیوبیوم و به ترتیب برابر با ۳/۷۸ g/cm^3 و ۱۲۹۲ HV است. از طرفی دیگر اندازه دانه‌های زمینه آلومینا پس از تف جوشی در اثرحضور اکسیدهای مختلف افزایش می‌یابد و بیشترین افزایش اندازه دانه را اکسیدنیوبیوم و برابر با ۳/۶۸ µm ایجاد می‌کند.

۱- مقدمه

بزرگترین کمبود سرامیک‌ها نسبت به فلزات در چقرمگی شکست بسیار پایین آن‌هاست. بهبود چقرمگی مواد سرامیکی یک نیاز بحرانی است که یکی از راه‌های رسیدن به این هدف جایگزینی مواد سرامیکی با کامپوزیت زمینه سرامیکی است. در کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی، هدف اولیه فراهم کردن چقرمگی در یک زمینه سرامیکی است[۱]. خواص سرامیک‌های آلومینایی باعث شده که آن‌ها نماینده خوبی برای کاربردهای دستگاه برش خصوصاً در دمای بالا و شرایط سرعت زیاد به حساب آیند[۲و۳]. آلومینا یکی از معروف‌ترین سرامیک‌ها و در عین حال دارای

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]

بهترین خواص هم چون سختی در دمای بالا، مقاومت سایشی بالا هست اما چقرمگی شکست آن پایین و متوسط است. مشکل چقرمگی کم را می‌توان با طراحی و آماده سازی مواد کامپوزیت تقویت شده با ذرات با فاز یکسان از زمینه یا یک فاز متفاوت اما مناسب بهبود داد[۴-۲]. در سال‌های اخیر، کامپوزیت‌های متعدد و پرکاربردی در صنعت بر پایه بهبود ویژگی‌های سرامیک‌ها معرفی شده است. به منظور دستیابی به مقاومت شکست‌های بالاتر، ترکیبات آلومینا_زیرکونیا جانشین ترکیبات آلومینایی شده‌اند[۶-۲]. آلومینا-زیرکونیا کامپوزیت‌هایی دوتایی هستند که در آن زیرکونیا به زمینه آلومینا به عنوان یک فاز دوم اضافه شده است. زیرکونیا دارای سه اشکال کریستالوگرافی است که عبارتند از: فازهای مونوکلینیک، تتراگونال، مکعبی[۷]. کامپوزیت آلومینا-زیرکونیا به دلیل خواص مکانیکی عالی خود سختی، استحکام، چقرمگی بالا و مقاومت در برابر سایش به‌طور گسترده برای کاربردهای مختلف از قبیل قطعات سایشی، ابزار برش، ایمپلنت‌های بیوپزشکی، قطعات ساختاری، قطعات مورد کاربرد در فضاپیماها، قطارهای سریع‌السیر و اتومبیل‌ها استفاده می‌شود[۶-۲]. در سال ۲۰۰۰ ریو و همکارانش[۸] در مطالعات خود اثر افزودن اکسیدکروم را به نمونه آلومینا بررسی و نشان دادند که سختی و چگالی نمونه افزایش می‌یابد. در سال ۲۰۱۴ حسن و همکارانش [۹] رابطه مثبت بین میزان اکسیدنیوبیوم و چگالی تف جوشی آلومینای تقویت شده نشان داد که افزایش درصد وزنی اکسیدنیوبیوم سختی و چقرمگی و چگالی تف جوشی را افزایش و باعث کاهش تخلخل می‌شود. همچنین افزایش در دمای تف جوشی چگالی را افزایش و تخلخل را کاهش می‌دهد. یانک و همکارانش[۱۰] در سال ۲۰۰۸ نشان دادند با افزایش درصد وزنی اکسیدنیوبیوم چگالی و اندازه دانه آلومینا افزایش می‌یابد. در سال‌های اخیر حجم قابل توجهی از کارهای تحقیقاتی در زمینه خواص مکانیکی سرامیک‌ها به کامپوزیت پایه سرامیکی معطوف شده است. خواص همچون چقرمگی، سختی بیش از هر خواص دیگر مورد توجه واقع گشته است. خواص ریزساختاری این مواد به صورت گسترده به فرآیند تولید این مواد بستگی دارد و معمولا برای تولید این کامپوزیت‌ها از فرآیند تف جوشی استفاده می‌شود. افزودن عناصری مثل اکسیدکروم بر روی سختی نیز تاثیر دارند. در این تحقیق تاثیر اکسیدکروم، اکسیدنیوبیوم و زیرکونیا بر خواص فیزیکی آلومینا مورد بررسی قرار گرفت. از آسیاکاری مکانیکی جهت خردایش و همگن سازی اندازه ذرات و اختلاط اجزاء پودری استفاده گردید.

۲- فعالیت‌های تجربی

مواد اولیه، پودر آلومینا (اندازه ذرات ۵ میکرون، خلوص ۹۹/۷ درصد، Lbakm، India)، پودر زیرکونیا (اندازه ذرات ۲ میکرون، خلوص ۹۹/۷درصد، Akvfyt، India) با ۱۰ درصد وزنی و اکسید کروم (کرومیا) (اندازه ذرات ۵ میکرون، خلوص ۹۹/۷ درصد، Akvfyt، India) با ۰/۶ درصد وزنی و اکسیدنیوبیوم (نیوبیا) (اندازه ذرات ۳ میکرون، خلوص ۹۹/۷ درصد، Merck، German) با ۱ درصدوزنی اضافه می‌شود. همچنین از اتیلن گلیگول با فرمول شیمیایی ($C_2H_6O_2$) برای متراکم سازی پودرها در هنگام تولید نمونه‌های خام اولیه استفاده شده است. از اسید استارئیک و استون برای

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]

روانکاری در طی آماده سازی نمونه قرصی شکل در عملیات پرس کاری استفاده می‌شود. ترکیب شمیایی نمونه‌های اولیه تهیه شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی نمونه‌های کامپوزیتی

نمونه	Al_2O_3 (wt %)	ZrO_2 (wt %)	Cr_2O_3 (wt %)	Nb_2O_5 (wt %)
Al_2O_3	۱۰۰	–	–	–
Al_2O_3 + Cr_2O_3	۹۹/۴	-	۰/۶	–
Al_2O_3 + ZrO_2 (ZTA)	۹۰	۱۰	-	–
Al_2O_3 + Nb_2O_5	۹۹	-	-	۱

آسیاب مورد استفاده در این تحقیق از نوع آسیاب سیاره‌ای پرانرژی دارای دو ظرف فولادی، ساخت ایران، اصفهان، مدل Sepahan 84D بود. جهت بهبود در امر آسیاب کاری و یکنواخت شدن همگن سازی از گلوله‌های فولادی با اندازه‌های مختلف ۸، ۱۶، ۲۲ میلیمتر و نسبت وزنی گلوله به پودر ۱:۲۰ استفاده گردید. سرعت چرخش بهینه در این آسیاب برای این تحقیق rpm ۴۰۰ تنظیم شد و زمان آسیاب بر روی ۱۲ ساعت تنظیم و انتخاب گردید. بعد از مخلوط کردن پودرها با نسبت‌های مختلف و آسیاب کاری آن‌ها، پودرها جهت شکل‌دهی مهیا شدند. جهت چسبندگی بهتر پودرها در هنگام اعمال فشار معادل MPa ۳۰۰ از اتیلن گلیگول استفاده شد. برای تهیه نمونه‌های کامپوزیتی قرصی شکل از یک استوانه‌ای توخالی با قطر ۱۰ میلی‌متر استفاده شد. نمونه به دست آمده استوانه‌ای شکل همانند قرص دارای ارتفاع تقریباً ۳ میلی‌متر و قطر ۱۰ میلی‌متر می‌باشد نمونه‌های بدست آمده در سه دمای ۱۳۰۰°C، ۱۴۰۰°C و ۱۵۰۰°C به مدت دو ساعت با نرخ گرمایش ۱۰ درجه بر دقیقه درکوره الکتریکی مدل Amagams عملیات حرارتی گردیدند. پس از فرآیند گرمایش، کوره خاموش و نمونه‌ها درون کوره تا دمای اتاق در اتمسفر هوا سرد شدند. اندازه‌گیری چگالی نمونه‌ها قبل از تف جوشی به روش ابعادی محاسبه گردید و محاسبه چگالی و تخلخل نمونه‌ها تف جوشی شده به روش ارشمیدس، مطابق با استاندارد (ASTM C373) انجام شد چگالی نسبی از تقسیم چگالی تف جوشی (چگالی نمونه‌های تف جوشی شده به روش ارشمیدس) بر چگالی تئوری به دست می‌آید محاسبه می‌شود. برای محاسبه چگالی تئوری نمونه‌های کامپوزیتی باید از رابطه۱ استفاده کرد[۱۱]. که در آن ρ_{th} چگالی تئوری، X کسر وزنی آلومینا، Y کسر وزنی زیرکونیا، K کسر وزنی اکسید کروم و N کسر وزنی اکسیدنیوبیوم است.

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left(\frac{X}{3.96}\right)+\left(\frac{Y}{5.68}\right)+\left(\frac{K}{5.22}\right)+\left(\frac{N}{4.60}\right)} \quad (۱$$

برای آماده سازی، نمونه‌ها پس از فرایند پولیش در محلول ۰/۵ درصد اسید فلوئوریدریک (HF) به مدت ۱۵ ثانیه اچ شدند. به منظور بررسی ریزساختار نمونه‌های تف جوشی شده و مورفولوژی فازهای به‌دست آمده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل VEGA\\TESCAN-LMU و به منظور تعیین دقیق‌تر ترکیب شیمیایی از آنالیز عنصری (EDS) استفاده شد. به منظور تعیین سختی از روش سختی سنجی ویکرز با استفاده از دستگاه سختی سنج مدل Wilson Wolpert UH930 استفاده گردید. آزمون سختی توسط اعمال نیروی ۳۰ نیوتن انجام شد و برای هر نمونه در سه نقطه سختی سنجی صورت گرفت که در نهایت،

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]

میانگین عدد به دست آمده به عنوان سختی نمونه‌ها در نظر گرفته شد. برای محاسبه میانگین اندازه دانه در دمای ۱۵۰۰°C از نرم افزار Image Analyzer استفاده گردید. با استفاده از پراش اشعه ایکس برای ارزیابی مقدار فاز مونوکلینیک و تتراگونال به ترتیب از رابطه ۲ و ۳ استفاده می‌شود. در اینجا (X_m) کسر وزنی مونوکلینیک، (X_t) کسر وزنی تتراگونال، I_m و I_t به ترتیب اشاره به شدت پیک‌های فازهای مونوکلینیک و تتراگونال دارد[۱۳ و۱۲].

$$X_m = \frac{I(111)_m + I\left(11\bar{1}\right)_m}{I(111)_m + I\left(11\bar{1}\right)_m + I(101)_t} \quad (۲$$

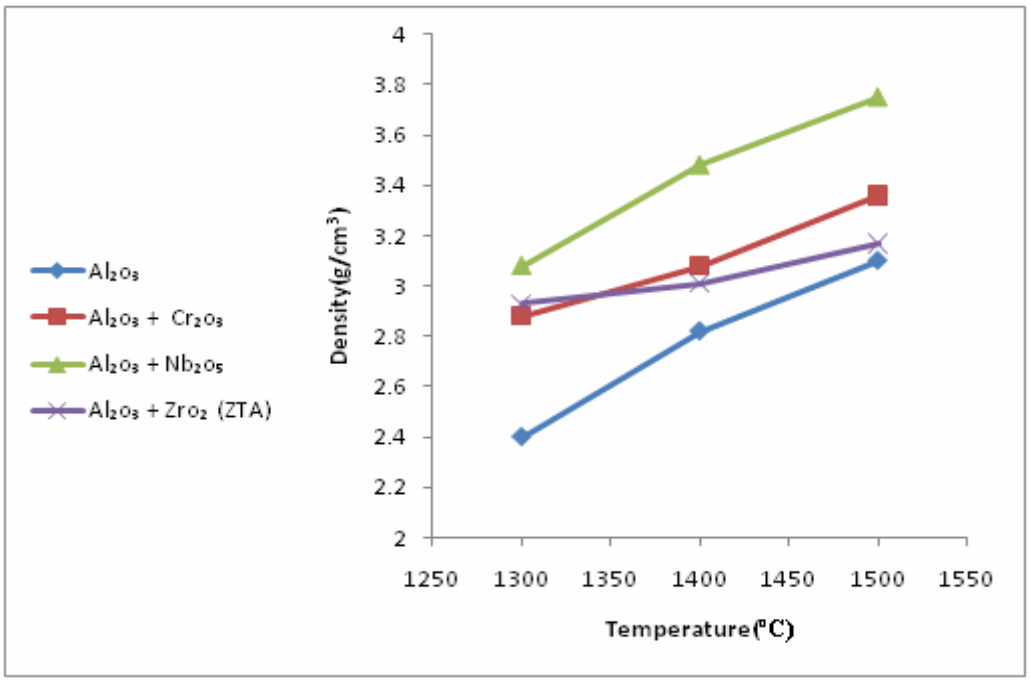
$$X_t = \frac{I(101)_t}{I(101)_t + I(111)_m + I\left(11\bar{1}\right)_m} \quad (۳$$

۳- بحث و نتایج

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود چگالی تف‌جوشی تمام نمونه‌ها با افزایش دما افزایش می‌یابد و دما تاثیر به‌سزایی بر تف جوشی نمونه می‌گذارد. افزودن اکسیدکروم، اکسیدنیوبیوم و زیرکونیا به آلومینای خالص چگالی تف‌جوشی را افزایش می‌دهد. یکی از دلایل افزایش چگالی تف جوشی در نمونه آلومینا_اکسیدکروم با افزایش دما کاهش تخلخل‌ها و همچنین تشکیل محلول جامد آلومینا_اکسیدکروم است. همچنین افزودن اکسیدنیوبیوم رفتار فشرده سازی زمینه آلومینا را بهبود می‌بخشد که به دلیل شباهت شعاع یونی، یون‌های Al^{+3} و Nb^{+5} است که نفوذ یون‌ها را در امتداد مرزدانه تسهیل می‌کند و در نتیجه منافذ جاهای خالی کاهش می‌یابد و با افزایش این عناصر مخصوصاً اکسیدنیوبیوم که با نفوذ درون این منافذ تخلخل را کاهش و چگالی را افزایش می‌دهد[۹]. چگالی تف‌جوشی برای نمونه‌های آلومینا_اکسیدکروم، آلومینا_زیرکونیا و آلومینا_اکسیدنیوبیوم در دمای ۱۵۰۰°C به ترتیب برابر با $3/36\ g/cm^3$، $3/17\ g/cm^3$ و $3/78\ g/cm^3$ است. در جدول شماره ۲ خلاصه‌ای از درصد چگالی نسبی و درصد تخلخل کامپوزیت‌های تف‌جوشی شده در دماهای مورد نظر قابل مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه آلومینا_ اکسیدنیوبیوم بالاترین چگالی نسبی نسبت به بقیه نمونه‌ها دارد. یکی از دلایل کاهش چگالی نسبی نمونه آلومینا_زیرکونیا نسبت به نمونه‌های دیگر علاوه بر تخلخل‌ها وجود زیرکونیا است که مانع از فشردگی کامپوزیت می‌شود. همان‌طور که حلالیت‌پذیری جامد زیرکونیا در آلومینا کوچک است، مقدار بیش از ۵ درصد حجمی ذرات زیرکونیا استفاده برای ساخت کامپوزیت آلومینا-زیرکونیا به عنوان یک فاز جداگانه در ساختار آلومینا وجود دارد که مانع فشردگی ساختار می‌شود[۱۴]. اما در حالت کلی افزودن این عناصر به آلومینا چگالی تف‌جوشی را افزایش می‌دهد.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]



شکل ۱- چگالی نمونه‌ها بر حسب دماهای تف جوشی مختلتف

جدول ۲- درصد چگالی نسبی و تخلخل در دماهای مختلف تف جوشی

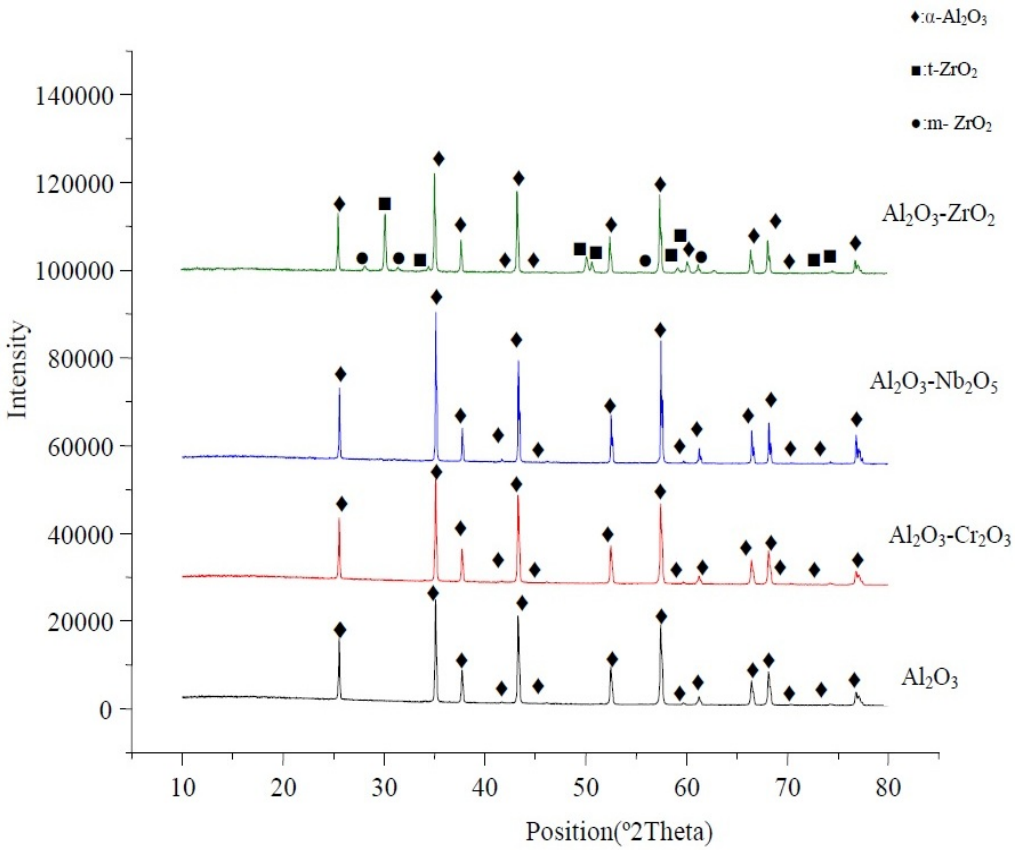
نمونه	۱۳۰۰ °C		۱۴۰۰ °C		۱۵۰۰ °C	
	چگالی نسبی	تخلخل	چگالی نسبی	تخلخل	چگالی نسبی	تخلخل
Al_2O_3	۶۰	۴۰	۶۵	۳۵	۷۰	۳۰
$Al_2O_3 + Cr_2O_3$	۷۳	۲۷	۷۸	۲۲	۸۵	۱۵
$Al_2O_3 + ZrO_2$ (ZTA)	۷۱	۲۹	۷۳	۲۷	۷۷	۲۳
$Al_2O_3 + Nb_2O_5$	۷۸	۲۲	۸۸	۱۲	۹۵	۵

الگو پراش اشعه ایکس نمونه‌های تف جوشی شده در شکل۲ نشان داده شده است. در نمونه آلومینا_اکسیدکروم تنها پیک‌های از آلومینا مشاهده شده و هیچ گونه پیکی که نشان دهنده ترکیب جدیدی در حین تف جوشی ایجاد شده باشد و یا پیک‌های از اکسیدکروم نشان داده نشده است که دلایل آن می‌توانند یکی به دلیل حل شدن اکسیدکروم درون آلومینا بخاطر ساختمان کوراندوم همسان و دیگری درصد کم و تبخیر اکسیدکروم در نمونه می‌باشد که نتایج مطابق با نتایج هیراتا و همکارانش[۱۵] است. در الگو پراش اشعه ایکس کامپوزیت آلومینا_ اکسیدکروم فقط پیک‌های مربوط به پودر آلومینا مشخص شده و اکسیدنیوبیوم هیچ گونه پیک مشخصی را نشان نمی‌دهد و شدت این پیک‌ها افزایش می‌یابد که نتایج این مطالعه با نتایج یانگ و همکارانش[۱۶و۱۰] و اولیویرا و همکارانش[۱۷] و هم چنین حسن و همکارانش[۹] نیز مورد تایید قرار گرفته است. به نظر می‌رسد اتم‌های نیوبیوم بطور کامل درون آلومینا حل

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]

شده است. با توجه به الگو شدت پیک‌ها افزایش و پهنای آن‌ها کاهش یافته که این امر ناشی از افزایش ذرات پودر است. در نمونه‌های آلومینا_زیرکونیا فاز زیرکونیا به دو صورت تتراگونال و مونوکلینیک قابل مشاهده است. درصد فاز تتراگونال و مونوکلینیک در نمونه آلومینا_زیرکونیا برابر با ۸۸/۸۵ و ۱۱/۱۵ درصد است.



شکل ۲- الگوهای پراش نمونه‌های تف جوشی شده در دمای ۱۵۰۰°C

شکل ۳ ریزساختار سطوح پولیش شده از نمونه‌های آلومینا، آلومینا_اکسیدکروم و آلومینا_اکسیدنیوبیوم و همچنین آلومینا_زیرکونیا را نشان می‌دهد. در شکل ۳ نقاط تیره دانه‌های آلومینا را نشان می‌دهد و نقاط روشن در شکل‌ها به ترتیب فاز دوم هر ترکیب را نشان داده است و ریزساختار نمونه‌ها توزیع و پراکندگی مناسب ذرات فاز ثانویه در ساختار نشان داده است. در شکل (۳الف) رشد دانه بعضی از دانه آلومینا ناشی از بهم آمیختگی دانه‌ها است که به مهاجرت مرز دانه مربوط است. بطوری‌که در شکل(۳ب) فاز ثانویه اکسیدکروم به‌وسیله رنگ سفید و فاز زمینه با رنگ تیره مشخص شده است. همانطور که از شکل (۳ب) مشخص است نمونه آلومینا_اکسیدکروم دارای تخلخل است و در مقایسه با نمونه آلومینا خالص تف جوشی مناسب‌تری صورت گرفته است. زمانی‌که اکسیدکروم به یک سیستم آلومینای اضافه می‌شود محلول جامد هم والانس در کل ترکیب تشکیل خواهد شد به این دلیل که هم اکسیدکروم و هم اکسید آلومینیوم دارای ساختار کریستالی کوراندوم همسان هستند. هنگام واکنش در دماهای بالاتر از ۱۰۰۰°C

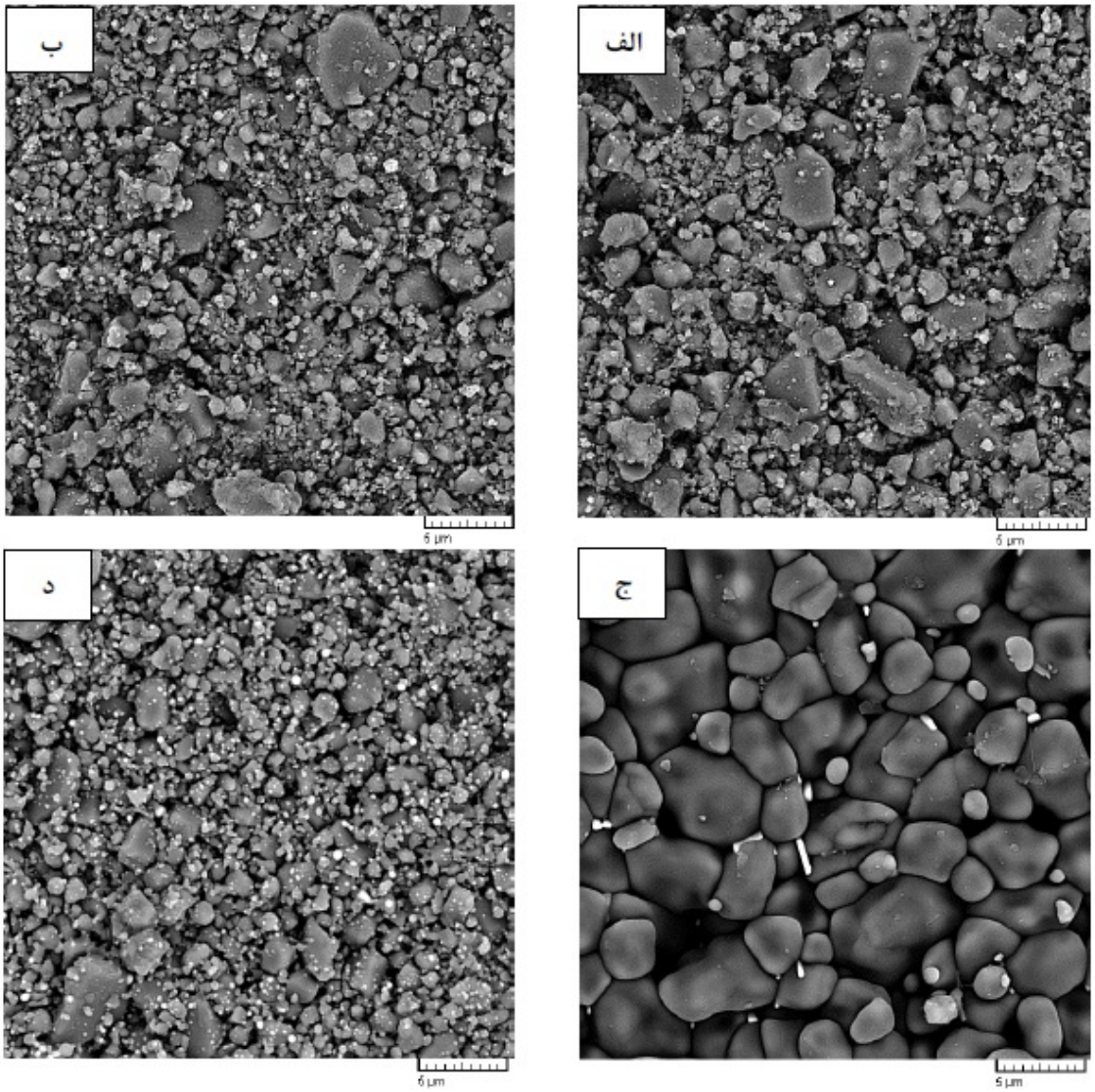
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]

محلول جامد جانشین به‌دست می‌آید. محلول جامد هم والانس زمانی اتفاق می‌افتد که یک اتم یا یون جانشین یک اتم یا یون با بار الکتریکی یکسان در ساختار منشاء شود[۲]. هنگامی‌که اکسیدکروم (۰/۶درصد وزنی) افزوده شود اندازه دانه‌های فاز آلومینا بزرگتر شده و برابر با ۱/۱۳ µm می‌باشد. به‌طوری که در شکل(۳ج) فاز افزودنی اکسیدنیوبیوم به وسیله رنگ سفید و فاز زمینه با رنگ تیره مشخص شده است. همانطور که در شکل (۳ج) مشخص است نمونه آلومینا_اکسیدنیوبیوم دارای تخلخل کمتر است و در آن نسبت به بقیه نمونه‌ها تف جوشی مناسب‌تری صورت گرفته است. در شکل(۳ج) افزودن اکسیدنیوبیوم به آلومینا رفتار فشرده سازی زمینه فاز آلومینا را بهبود می‌بخشد، این به دلیل شباهت شعاع یونی، یون‌های Al^{+3} (0.54Å) و Nb^{+5} (0.69Å) است که نفوذ یون‌ها در امتداد مرز دانه را تسهیل می‌کند و فشرده سازی جسم را افزایش می‌دهد[۹]. با توجه به چگالی نمونه آلومینا_اکسیدنیوبیوم دارای تف جوشی بهتری نسبت به دیگر نمونه‌ها است. در ترکیب آلومینا_اکسیدنیوبیوم دانه‌ها به هم چسبیدگی پیدا کردند که این مطلب را می‌تواند از روی شکل(۳ج) به خوبی دید اما هنوز مقداری تخلخل که نقاط تیره رنگ هستند مشخص است. ذرات سفید رنگ که با توزیع مناسب در کل نمونه پخش شدند اکسیدنیوبیوم هستند که در موقعیت بین دانه‌ای یا در اتصالات سه گانه دانه‌های آلومینا قرار می‌گیرند و با تقویت و تمیز کردن مزردانه باعث چسبندگی بهتر و در نتیجه افزایش استحکام می‌شود[۷]. شکل به خوبی نشان داده که دانه آلومینا بزرگتر و حدود ۳/۶۸ µm می‌باشد که نشان می‌دهد. اکسیدنیوبیوم اندازه دانه‌ها را افزایش می‌دهد این نتیجه مطابق با نتایج مختلفی که توسط یانگ و همکارانش [۱۶و۱۰] انجام شد است. رشد بعضی از دانه آلومینا ناشی از بهم آمیختگی دانه‌ها است که به مهاجرت مرز دانه مربوط است. ذرات زیرکونیا دانه‌های نسبتا گرد کوچک و سفید رنگ می‌باشند که اکثرا در موقعیت بین دانه‌ای قرار دارند. همانطور که حلالیت پذیری جامد ZrO_2 در Al_2O_3 کوچک است، مقدار بیش از ۵ درصدحجمی ذرات ZrO_2 استفاده برای ساخت کامپوزیت آلومینا-زیرکونیا به عنوان یک فاز جداگانه در داخل Al_2O_3 وجود دارد این را به خوبی می‌توان در شکل(۳د) دید.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]



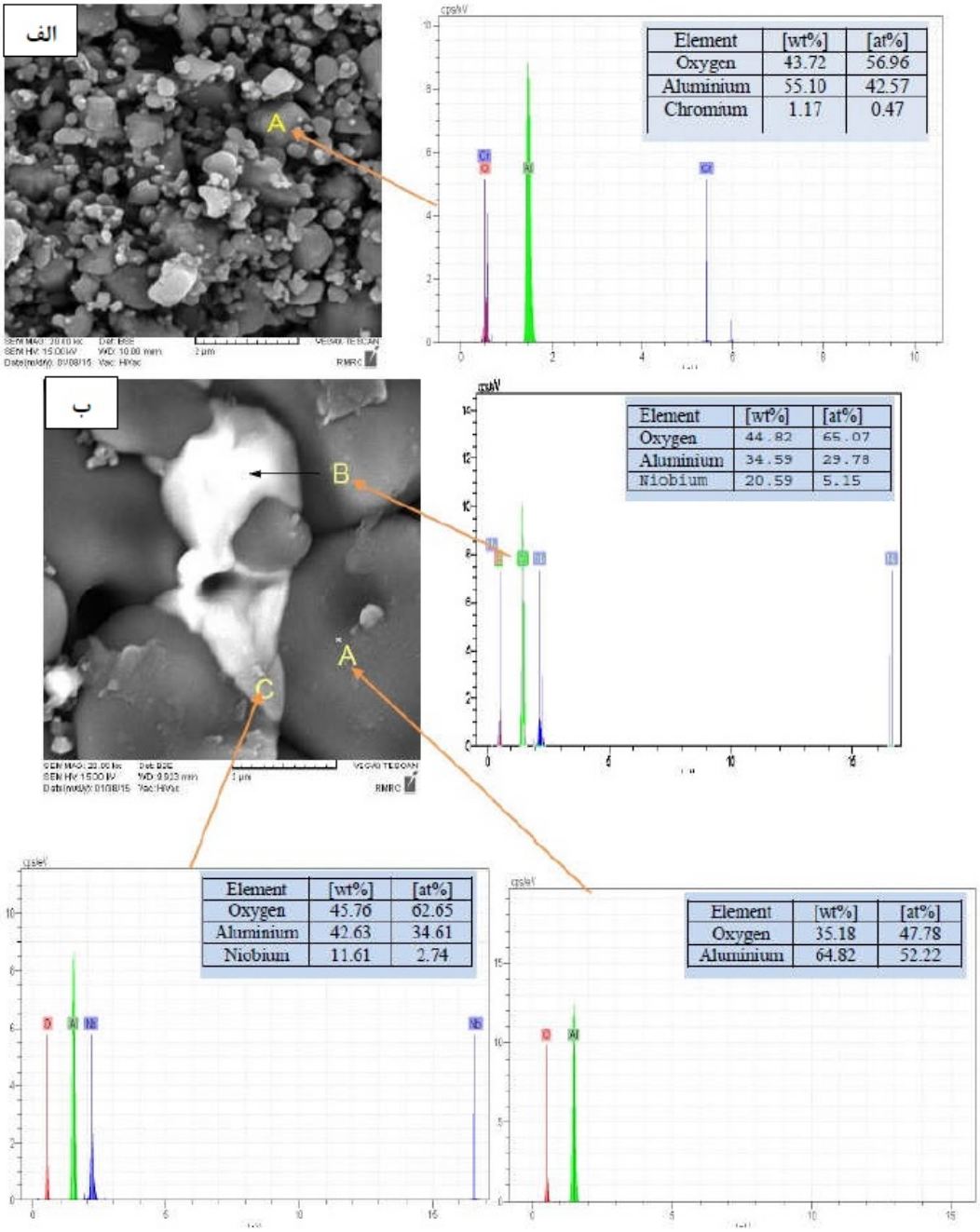
شکل ۳- ریزساختار نمونه‌ها (الف) Al_2O_3 **(ب)** $Al_2O_3+Cr_2O_3$ **(ج)** $Al_2O_3+Nb_2O_5$ **(د)** $Al_2O_3+ZrO_2$

شکل (۴الف) ریزساختار نمونه کامپوزیتی آلومینا-اکسیدکروم نشان می‌دهد. فازهای تیره رنگ که با A نشان داده شده مطابق آنالیز عنصری (EDS) مربوط به منطقه A که شامل عناصر Al و O می‌باشد که فاز زمینه آلومینا را نشان می‌دهد. همچنین با توجه به آنالیز عنصری نمونه در منطقه A وجود اکسیدکروم در نمونه به اثبات می‌رسد. شکل (۴ب) ریزساختار نمونه کامپوزیتی آلومینا-اکسیدنیوبیوم نشان می‌دهد. فازهای تیره رنگ که با A نشان داده شده مطابق آنالیز عنصری (EDS) مربوط به منطقه A که شامل عناصر Al و O می‌باشد که فاز زمینه آلومینا را نشان می‌دهد. منطقه C نشان داده شده مطابق با آنالیز عنصری آن منطقه شامل پیک‌های از عناصر مختلف است که این فاز مایل به رنگ شیری، که در گوشه و در بین دو دانه آلومینا قرار گرفته محلول جامد $AlNbO_4$ است این

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]

فاز همچنین توسط حسن و همکارانش[۹] و اولیویرا و همکارانش[۱۷] و همچنین یانگ و همکارانش[۱۶و۱۰] مشاهده گردید از طرفی فازی که با رنگ سفید و پیکان B مشخص شده است با توجه به آنالیز عنصری آن منطقه که شامل عناصر مختلفی است اکسیدنیوبیوم را نشان می‌دهد و این فاز در مرزدانه‌ها مستقر است که باعث افزایش استحکام و تقویت مرزدانه می‌شود و مطابق با نتایج حسن و همکارانش[۹] است.



شکل ۴- آنالیزهای عنصری (EDS)، (الف) نمونه $Al_2O_3+Cr_2O_3$ (ب) نمونه $Al_2O_3+Nb_2O_5$ در مناطق مختلف

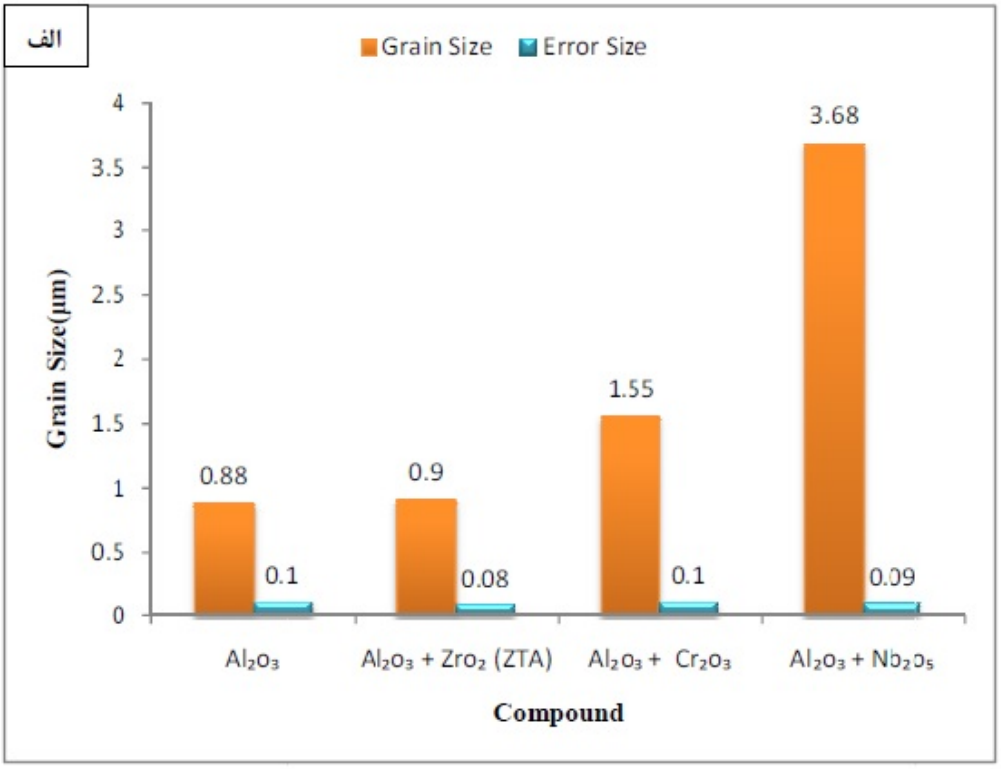
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

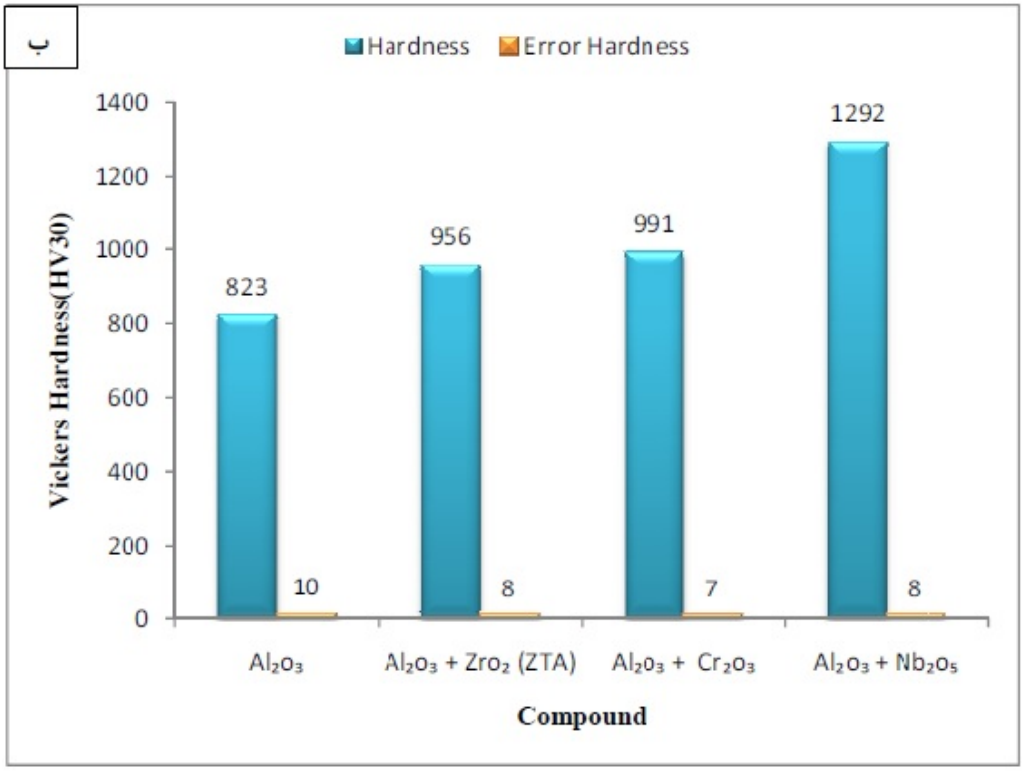
[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]

میانگین اندازه دانه‌های آلومینا در نمونه‌های مختلف در دمای ۱۵۰۰°C از روی ریزساختار نمونه‌ها که در شکل ۳ نشان داده شده محاسبه گردید. شکل(۵الف) اثرات افزودن اکسیدنیوبیوم، اکسیدکروم و زیرکونیا را روی اندازه دانه‌های آلومینا نشان می‌دهد. همانطور که در شکل(۵الف) نشان داده شده اندازه دانه‌های آلومینای نمونه آلومینا_اکسیدنیوبیوم برابر با ۳/۶۸μm است. زمانی‌که اکسیدنیوبیوم به نمونه آلومینا افزوده شود میانگین اندازه دانه‌های آلومینا از ۰/۹ μm به ۳/۶۸ μm میکرون افزایش می‌یابد که این نتیجه منطبق با نتایج یانگ و همکارانش[۱۶و۱۰] و همچنین حسن و همکارانش[۹] است که نشان دادند افزودن اکسیدنیوبیوم میانگین اندازه دانه‌های آلومینا زمینه را افزایش می‌دهد زمانی‌که به عنوان محلول جامد در آلومینا حل شود[۱۸]. میانگین اندازه دانه‌های آلومینا در کامپوزیت آلومینا_زیرکونیا برابر با ۰/۹ μm است. اثرات افزودن اکسیدکروم روی اندازه دانه‌های آلومینا همانطور که در شکل(۵الف) نشان می‌دهد اکسیدکروم اندازه دانه‌های آلومینا را افزایش می‌دهد به‌طوری‌که زمانی‌که اکسیدکروم به آلومینا افزوده شود اندازه دانه آلومینا از ۰/۸۸μm به ۱/۵۵ μm افزایش می‌یابد که از دلایل آن حل شدن اکسیدکروم درون آلومینا و نفوذ یون‌های Cr درون ساختار است. ضریب نفوذ یون Cr دارای یک نظم منظم تر و بزرگتر درون جسم است و این نتیجه منطبق با نتایج ریو و همکارانش[۹] است که نشان دادند با افزودن اکسیدکروم اندازه دانه‌های زمینه آلومینا افزایش می‌یابد. سختی تمام نمونه‌ها در دمای ۱۵۰۰ °C در شکل (۵ب) نشان داده شده است. بیشترین سختی مربوط به نمونه تف‌جوشی شده آلومینا_اکسیدنیوبیوم برابر با ۱۲۹۲ HV است که به دلیل تف جوشی عالی تر نمونه و در نتیجه چگالی بالاتر و تخلخل کمتر به‌دست آمد. بهبود سختی در نمونه تف جوشی شده آلومینا_اکسیدنیوبیوم به علت تشکیل فاز $AlNbO_4$ است که باعث افزایش انسجام بین دانه‌ها و تقویت فصل مشترک فاز و مرزدانه زمینه می‌شود که این نتایج با نتایج بدست آمده توسط حسن و همکارانش[۹] و اولیویرا و همکارانش[۱۷] مطابقت دارد. سختی نمونه آلومینا خالص تف جوشی شده برابر با ۸۲۳ HV محاسبه گردید. زمانی‌که به نمونه آلومینا خالص زیرکونیا افزوده می‌شود سختی نمونه تف جوشی شده آلومینا-زیرکونیا برابر با ۹۵۶HV محاسبه گردید. افزودن اکسیدکروم به نمونه آلومینای خالص همانطور که در شکل(۵ب) نشان می‌دهد سختی نمونه افزایش پیدا کرده که تاثیر اکسیدکروم را نشان می‌دهد. افزودن اکسیدکروم به نمونه به دلیل تراکم بالاتر و تف‌جوشی بهتر، سختی نمونه افزایش می‌یابد. و همچنین افزایش سختی ممکن است به‌وسیله شکل‌گیری محلول جامد هم والانس بین Al^{-3} و Cr^{-3} ایجاد شده باشد چون هر دوی آن‌ها ساختار کوراندوم مشابهی داشتند. و سختی مربوط به نمونه آلومینا_اکسیدکروم تف جوشی شده برابر با ۹۹۱ HV است. همچنین بهبود در سختی نمونه‌ها به تراکم و چگالی بالاتر نمونه‌ها و تخلخل کمتر وابسته است. کامپوزیت تف جوشی شده آلومینا-اکسیدنیوبیوم سختی بالاتری نسبت به دیگر نمونه‌ها دارد که دلیل اصلی آن تخلخل کمتر و تراکم و تف جوشی بهتر است.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]





شکل ۵- (الف) اندازه دانه‌های آلومینا (ب) سختی ترکیبات زینتر شده در ۱۵۰۰°C

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]

۴- نتیجه‌گیری

- بررسی‌ها نشان داد که آسیاکاری مکانیکی، توزیع یکنواخت ذرات را در زمینه سبب شده است.
- با افزودن اکسیدهای مختلف چگالی نمونه آلومینای خالص افزایش و تخلخل کاهش می‌یابد و نمونه آلومینا_اکسیدنیوبیوم دارای چگالی نسبی و سختی بالاتری نسبت به دیگر نمونه‌ها دارد و به ترتیب چگالی نسبی برابر با ۹۵ درصد و سختی برابر با ۱۲۹۲ HV است.
- بهبود سختی در نمونه‌های آلومینا_اکسیدنیوبیوم به علت چگالی بالا و تف جوشی بهتر نمونه است.
- عکس‌های SEM و EDS وجود فاز جدیدی از ترکیب فازهای آلومینیوم و نیوبیوم را نشان می‌دهد که این فاز احتمالا $AlNbO_4$ باشد.
- اندازه دانه‌های زمینه آلومینا با افزودن اکسیدنیوبیوم، اکسیدکروم و زیرکونیا به نمونه افزایش می‌یابد و بیشترین افزایش اندازه دانه را اکسیدنیوبیوم و برابر با ۳/۶۸ μm ایجاد می‌کند.

مراجع

[۱] ن، سلطانی، «آشنایی با کامپوزیت‌های زمینه فلزی، پلیمری، سرامیکی و فرآیندهای ساخت»، چاپ اول، تهران: انتشارات جهان جام جم، ۱۳۸۷

[2] A. Azhar, and L. Chun Choong, "Effects of Cr_2O_3 Addition on the Mechanical Properties, Microstructure and Wear Performance of Zirconia Toughened-Alumina (ZTA) CuttingInserts", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 513, PP. 91– 96, (2012).

[3] D. Casellas, "Fracture Toughness of Alumina and ZTACeramics: Microstructural Coarsening Effects", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 143–144, PP. 148–152, (2003).

[4] N. A. Rejab, and A. Azhar, "The Relationship between Microstructure and Fracture Toughness of Zirconia Toughened Alumina (ZTA) Added With MgO and CeO_2", International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 41, PP. 522–530, (2013).

[5] N.A. Rejab, and A. Azhar, "The Effects of CeO_2 Addition on the Physical, Microstructural and Mechanical Properties of Yttria Stabilized Zirconia Toughened Alumina (ZTA)", International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 36, PP. 162–166, (2013).

[6] C., Suryanarayana, "Mechanical alloying and milling", Progress in Materials Science., No. 46, 2001, PP. 1-184

[7] A. M. Hassan, M. Awaad, S. M. Naga, "Toughening and Strengthening of Nb_2O_5 Doped Zirconia/Alumina (ZTA) Composites", Intertional Journal of Refractory Metals and Hard Matnaerials, Vol. 48, PP. 338-345, (2015).

[8] D. H. Riu, and Y.M. Kong, ″Effect of Cr_2O_3 addition on microstructural evolution and mechanical properties of Al_2O_3″, Journal of the European Ceramic Society, Vol. 20, PP. 1475–1481, (2000).

[9] A. M. Hassan, M. Awaad, S. M. Naga, "Densification Behavior and Mechanical Properties of Niobium-Oxide-Doped Alumina Ceramics", Journal of Ceramis Science and Technology., Vol. 05, No. 01, PP. 51-56, (2014).

[10] Y. F. Hsu, S. F. Wang, Y. R. Wang, S. C. Chen, "Effect of Niobium Doping on the Densification and Grain Growth in Alumina", Ceramics International., Vol. 34, PP. 1183–1187, (2008).

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]

[11] P. d. E. Louis Winnubst, T. H. P. Leuwerink, A. J. Burggraaf, "Effect of Calcination on the Sintering of Gel-Derived, Zirconia-Toughened Alumina", Journal of American Ceramic Society, Vol. 77, PP. 2376-2380, (1994).

[12] R. Gopi Chandran, and K. C. PATIL," Combustion Synthesis and Properties of Mullite-Zirconia Composites", Journal of Materials Science, Vol. 31, PP. 5773-5779, (1996).

[13] R. C. Garvie, And P. Nicholson," Phase Analysis in Zirconia Systems", Journal of The American Ceramic Society, Vol. 55, PP. 303-305, (1972).

[14] K. Maiti, A. Sil, "Microstructural Relationship with Fracture Toughness of Undoped and Rare Earths (Y, La) Doped Al_2O_3–ZrO_2 Ceramic Composites", Ceramic International, Vol. 37, PP. 2411–2421, (2011).

[15] T. Hirata, K. Akiyama, ″Sintering behavior of Cr_2O_3-Al_2O_3 ceramics″, Journal of the European Ceramic Society, Vol. 20, PP. 195-199, (2000).

[16] Y. F. Hsu, ″Influence of Nb_2O_5 Additive on The Densification and Microstructural Evolution of Fine Alumina Powders″, Materials Science and Engineering A, Vol. 399, PP. 232–237, (2005).

[17] L. N. L. Oliveira, R. V. B. Campos, D. X. Gouveia, M.A.S. Silva, A.S.B. Sombra, ″Microwave Dielectric Properties Study of (Al_2O_3)-(Nb_2O_5) Composite For Dielectric Resonator Antenna Applications″, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 58, No. 6, PP. 1473–1479, (2016).

[18] B. F. Pedersen, "The Crystal Structure of Aluminum Niobium Oxide ($AlNbO_4$) ", Acta Chemica Scandinavica, Vol. 16, PP. 421 – 430, (1962).

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1395.5.2.6.8]