

# کواهی ارائه مقاله

ضمن تشکر و قدردانی از ارائه مقاله با عنوان

## بررسی ترکیب شیمیایی، ریزساختار و سختی سگمنتهای الماسه

در نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی ایران

و چهاردهمین همایش ملی مشترک انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران

در تاریخ ۲۰ و ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۹ - ایران

این کواهی به نویسندگان مقاله:

فهریمه مرادی حسن آباد، سید عبدالکریم سجادی

اعطای گردید. موفقیت روزافزون شمارادپیشرفت علم و فناوری، از خداوند متعال خواستاریم.

دکتر محمود نیلی احمدآبادی

رئیس انجمن متالورژی و مواد ایران



دکتر سحر پالیزوار  
دیسر کنفرانس

عبدالمجید درستی

مهندس عبدالمجید قدیمی

رئیس هیئت مدیره انجمن علمی ریخته‌گری ایران



## بررسی ترکیب شیمیایی، ریزساختار و سختی سگمنت‌های الماسه

فهیمة مرادی حسن آباد<sup>۱</sup>، سید عبدالکریم سجادی<sup>۲</sup>

Fffmorad.2012@gmail.com

### چکیده

هدف از این مطالعه بررسی ترکیب شیمیایی، ریزساختار و سختی سگمنت‌های الماسه ساخته شده با روش آلیاژسازی مکانیکی و تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای (SPS) است. به منظور تولید این سگمنت‌ها که در برش سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرند، ابتدا پودرهای برنز، نیکل، کبالت، اکسید زیرکونیم، کاربید تنگستن و الماس با درصدهای وزنی متفاوت توسط دستگاه آسیاکاری گلوله‌ای مخلوط شدند. سپس توسط دستگاه تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای در دمای ۷۰۰ و ۷۳۰ سانتی‌گراد، فشار ۴۰ مگاپاسکال و مدت زمان ۲/۵ و ۱۰ دقیقه تف‌جوشی شدند. در ادامه به منظور بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی، نمونه‌ها توسط روش ارشمیدس چگالی سنجی شدند و سختی آن‌ها نیز توسط روش ویکرز اندازه‌گیری شد. بررسی ریزساختاری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) انجام گرفت. نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که افزودن مقدار مواد تقویت‌کننده نانوذرات زیرکونیا تا مقدار معینی خواص را بهبود می‌بخشد. همچنین، کاهش مقدار کبالت و افزایش نیکل، سختی و چگالی را کم می‌کند. نتایج نشان داد که مقدار مناسب برای زمان تف‌جوشی ۲/۵ دقیقه و برای دما ۷۳۰ درجه سانتی‌گراد است.

کلمات کلیدی: SPS، سگمنت الماسه، الماس، تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد رشته مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه فردوسی مشهد

## ۱- مقدمه

سنگ‌های طبیعی بصورت گسترده برای اهداف ساخت و تزئین استفاده می‌شوند. در گذشته سنگ‌ها با استفاده از انفجار از کوه جدا می‌شدند که این روش ضایعات زیادی تولید می‌کرد اما امروزه بوسیله مته‌ها سوراخ‌هایی در کوه ایجاد و سپس توسط سیم برش قطعات سنگ از کوه جدا می‌شوند که اصطلاحاً به آنها کوپ گفته می‌شود. در ادامه توسط اره‌های مدور و قابدار، کوپ‌ها برش داده شده تا به اسلب تبدیل شوند. سپس اسلب‌ها توسط لقمه‌ها صیقل داده شده و برای مصرف راهی بازار می‌گردند [۱]. اره‌های قابدار شامل تعدادی سگمنت هستند. با حرکت افقی اره و حرکت رو به بالا سنگی که زیر اره قرار دارد برش انجام می‌شود [۲]. اما در اره‌های مدور حرکت دروانی است. این اره‌ها شامل دو عنصر اصلی هستند: هسته فولادی و سگمنت. سگمنت‌ها توسط جوش لیزر یا لحیم‌کاری سخت به هسته فولادی متصل می‌شوند [۳، ۴]. سگمنت‌ها در قطرهای مختلف وجود دارند و بسته به قطر اره، اندازه سگمنت مورد استفاده متفاوت است.

سگمنت‌های سنگبری کامپوزیت زمینه فلزی با ذرات الماس هستند که از ترکیبات فلزی به منظور حفظ الماس در زمینه استفاده می‌شود [۵]. این مهم است که پیوند فلزی همراه با ذرات الماس ساییده شود تا سگمنت در طول برش خود بخود تیز<sup>۳</sup> شود. فاکتورهایی که در انتخاب ترکیب زمینه موثر هستند عبارتند از: مقاومت به سایش زمینه، نوع و اندازه الماس انتخاب شده و روش تولید که از این جهت بهترین ترکیب شیمیایی به عنوان زمینه، کبالت است [۵، ۶]. برای دستیابی به بهترین اره اقتصادی باید تعادلی میان عمر ابزار و سرعت برش حاصل گردد. بطور کلی هرچه قطعه مورد نظر برای برش سخت‌تر باشد نوع الماس انتخابی باید محکم‌تر باشد درحالی که زمینه باید فرسایشی یکسان با خرابی الماس داشته باشد. انتخاب نادرست مقدار، اندازه و نوع الماس و مواد زمینه منجر به ساختن سگمنتی می‌شود که سایش خیلی زیاد یا خیلی کم دارد [۶، ۷]. استحکام تسلیم و سختی زمینه دو عامل مهم برای نگه داری الماس در زمینه هستند [۸].

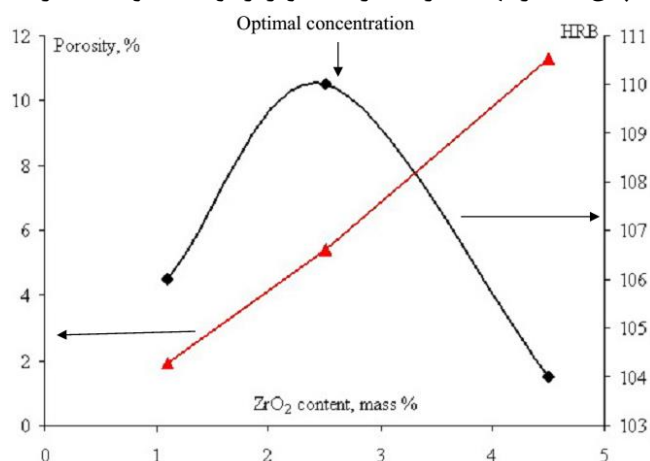
بسته به اینکه در ساخت الماس مصنوعی از آلیاژهای پایه کبالت یا آلیاژهای پایه نیکل استفاده شود ساختارهای مختلف بدست می‌آید. الماس‌های دسته کبالت بوسیله حضور آرایه‌های منظمی از فلزات درون هر ذره مشخص می‌شوند و بنابراین آنها تمایل به شکستن به شیوه نامنظم دارند که موجب برش آسان می‌شود. در الماس‌های دسته نیکل ناخالصی‌ها بصورت یکنواخت در سراسر ذره توزیع شدند که موجب شفافیت عالی، چقرمگی زیاد، مقاومت به فرسایش حرارتی می‌شود [۹].

پیونددهنده‌های الماس ترکیباتی نظیر کبالت، آهن، نیکل، مس، قلع و دیگر فلزات و آلیاژها هستند که بسته به پایداری حرارتی ذرات الماس، غلظتشان در لایه‌های ساییده و نوع قطعه‌کار، پیوندی با خواص تریبولوژی و مکانیکی ایجاد می‌کنند [۴، ۱۰]. تنگستن به عنوان پیونددهنده ذرات الماس برای برش موادی

<sup>3</sup> Self-Sharpening



نظیر بتن و بعضی گرانیته‌ها استفاده می‌شود. تنگستن- کبالت و آلیاژهای کبالت بیشتر برای برش سنگ گرانیته بکار می‌روند. کبالت، کبالت-برنز و آهن-کبالت با مقادیر کبالت بین ۱۸ تا ۲۵ درصد وزنی برای برش سنگ مرمر استفاده می‌شوند [۳، ۱۱]. کبالت با الماس ترشوندگی خوبی ایجاد کرده که منجر به افزایش چگالی و سختی خواهد شد [۱۲، ۱۳]. افزودن کبالت همچنین موجب کاهش سایش نیز خواهد شد [۱۴]. آهن می‌تواند به‌عنوان پرکننده تخلخل‌ها به زمینه افزوده شود [۱۳]. البته این عنصر به‌صورت خطرناکی با الماس در دمای بالا واکنش می‌دهد که این دما به قابلیت حل کربن در آستنیت بستگی دارد [۱۵]. در حضور فلزات، تبدیل الماس به گرافیت سریع‌تر انجام می‌شود. بعد از سرد شدن، کربن می‌تواند در آهن باقی بماند یا بصورت گرافیت و کاربرد از الماس جدا گردد [۱۶]. مس و قلع و آلیاژشان برنز، برای پر کردن حفرات ایجادی در طول تفجوشی بکار می‌روند [۱۲، ۱۳، ۱۷] و چگالی را بالا می‌برند اما از آنجا که ترشوندگی کمی با الماس دارند، مقاومت به سایش آن را کم می‌کنند [۱۵، ۱۸]. تنگستن با کربن پیوند قوی برقرار کرده و موجب ایجاد لایه نازک کاربرد تنگستن در فصل مشترک تنگستن و الماس می‌شود. این باعث ایجاد پیوندهای مکانیکی و شیمیایی شده که در نتیجه موجب محکم شدن الماس در زمینه می‌شود [۱۳، ۱۵، ۱۹]. همچنین تنگستن و دیگر کاربیدها از رشد دانه جلوگیری کرده و بدین ترتیب نیز باعث بهبود خواص مکانیکی می‌شوند [۱۷]. برای بررسی تاثیر ذرات نانو زیرکونیا باید دو نکته را در نظر گرفت: اول آنکه این ذرات اثر تقویت‌کنندگی دارند، دوم اینکه این ذرات به‌راحتی آگلومره شده و فرآیند تفجوشی را مختل می‌کنند که این موجب کاهش چگالی و افزایش تخلخل خواهند شد. پس سختی کل ابتدا به‌علت اثر تقویت‌کنندگی آنها افزایش و سپس به علت کاهش دانسیته، کاهش خواهد یافت (شکل ۱). پس مقدار بهینه برای ذرات نانو زیرکونیا حدود ۲/۵ درصد وزنی خواهد بود [۲۰].



شکل ۱- سختی و تخلخل بر حسب مقدار نانوذرات زیرکونیا [۲۰]

همچنین گفته شده است نانو ذرات الماس و زیرکونیا به نسبت الماس با اندازه ذرات ۲۵ میکرون تاثیر بهتری روی خواص مکانیکی آن برجای می‌گذارد. از این میان تاثیر نانوذرات زیرکونیا بهتر از نانو الماس است [۲۱].



امروزه سگمنت‌های الماسی به وسیله پرس داغ، تفجوشی پلاسمای جرقه‌ای [۱۷] و تصفیه فلزات در مقیاس بزرگ با کمی پرس سرد و تفجوشی تولید می‌شوند. در طول فرآیند، ذرات الماس توسط واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی به زمینه پیوند داده می‌شوند. متغیرهای تفجوشی باید به دقت کنترل شوند تا از گرافیت زایی جلوگیری شده و برش به صورت موثر انجام شود. اصولاً در دمای تفجوشی زیر ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد، گرافیت‌زایی کمتر رخ می‌دهد هرچند این رخداد وابسته به زمان و روش تولید نیز هست [۳].

در روش تفجوشی پلاسمای جرقه‌ای پودرها پرس می‌شوند و همزمان تحت حرارت قرار می‌گیرند اما فرآیند حرارت دادن با پرس داغ متفاوت است. یک جریان الکتریکی پالسی مستقیم از میان پودرها عبور می‌کند. این تکنیک منجر به ایجاد جرقه‌هایی بین پودرها شده که پودر را حرارت می‌دهد. دستگاه تفجوشی پلاسمای جرقه‌ای محفظه‌ای تحت خلا دارد که ابزار پرس گرافیتی برای فشردن پودرها در آن قرار دارد [۱۶]. در این روش، ذرات دچار تغییر شکل پلاستیکی شده و به صورت گلوبی به یکدیگر متصل می‌شوند. این روش دما و زمان پایین‌تری به نسبت تفجوشی معمولی نیاز دارد و می‌توان پودرهای نانو ذره را بدون رشد دانه‌های آن تفجوشی کرد [۲۲]. از آنجایی که در فرآیند تفجوشی پلاسمای جرقه‌ای سگمنت سریع‌تر از فرآیند پرس داغ گرم می‌شود و زمان کوتاه‌تر است، الماس موجود در آن کمتر گرافیت‌زایی می‌کند و کمتر تخریب می‌شود [۱۶]. در این پژوهش، چندین نمونه با ترکیب شیمیایی متفاوت تهیه گردید و اثر زمان تفجوشی پلاسمای جرقه‌ای و افزودن کاربید تنگستن الماس با مش ۴۰/۵۰ بر سختی و چگالی سگمنت بررسی شد.

## ۲- مواد و روش تحقیق

به منظور تولید نمونه‌های آزمایشگاهی، پودرهای مختلف با درصد وزنی متفاوت طبق جدول شماره ۱ تهیه شدند. ترکیب برنز در این تحقیق ۱۰٪/وزنی قلع و ۹۰٪/وزنی مس بود. اندازه ذرات الماس ۳۰۰ میکرون بود.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی نمونه‌های تولیدی

درصد وزنی اجزا نمونه (wt.%)						
ردیف	برنز	نیکل	کبالت	نانو زیرکونیا	الماس ۳۰۰ میکرون	کاربید تنگستن
۱	۴۰	۱۰	۴۰	۲	۴	۴
۲	۴۰	۱۰	۴۰	۳	۴	۳
۳	۴۰	۲۰	۳۰	۲	۴	۴
۴	۴۰	۱۰	۴۰	۲	۴	۴



۴	۴	۲	۴۰	۱۰	۴۰	۵
---	---	---	----	----	----	---

هرکدام از ترکیبات ذکر شده توسط دستگاه آسیای گلوله‌ای مدل PM2400 ساخت شرکت آسیا صنعت رخس با سرعت ۲۲۰ دور بر دقیقه، نسبت گلوله به پودر ۱:۱۰ و مدت زمان ۴۵ دقیقه مخلوط شدند. نمونه‌های ۱، ۲، ۳ در دمای ۷۳۰ °C و زمان ۲/۵ دقیقه و به منظور بررسی اثر زمان، دو نمونه ۴ و ۵ در دمای ۷۰۰ °C و مدت زمان ۲/۵ و ۱۰ دقیقه تفجوشی شدند. لازم به ذکر است که فشار اعمالی در تمام نمونه‌ها ثابت و برابر ۴۰ MPa بود.

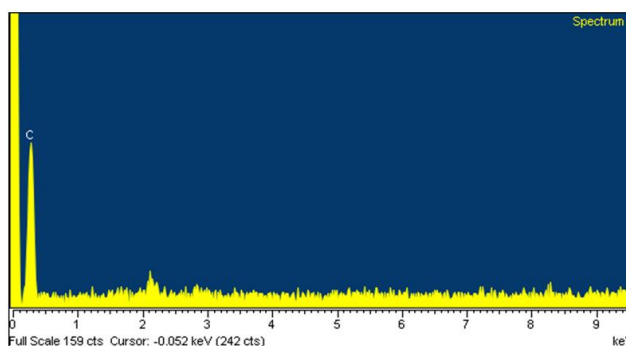
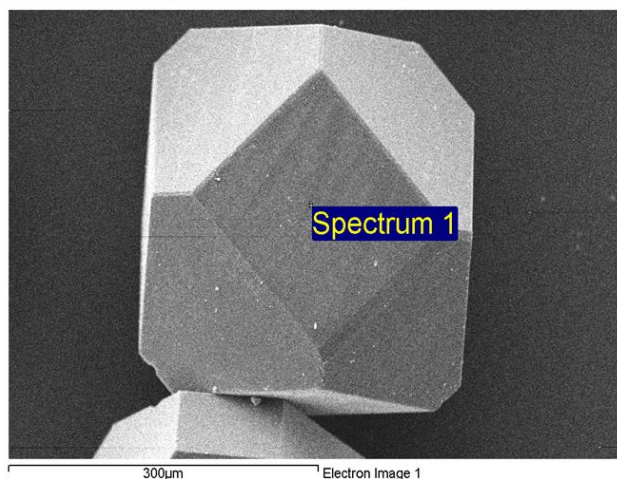
ریزساختار توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل LEO 1450 VP ساخت آلمان مجهز به آنالیز EDS ساخت آکسفورد انگلیس و میکروسکوپ نوری انجام شد. سختی نمونه‌ها توسط روش ویکرز و با بار اعمالی ۳۰۰ کیلوگرم نیرو انجام گرفت. در ادامه، چگالی نمونه‌ها توسط روش ارشمیدس اندازه‌گیری شد. به این منظور ابتدا توسط ترازو دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم جرم نمونه‌ها در هوا و سپس در حالت غوطه‌وری در آب اندازه‌گیری شد و چگالی تجربی آن طبق رابطه ۱ بدست آمد، که در آن M جرم قطعه در هواست و  $M_w$  جرم قطعه در حالت غوطه‌وری در آب است.

$$\rho = \frac{M}{M - M_w} \quad (1)$$

چگالی تئوری نمونه‌ها نیز با توجه به ترکیب هر نمونه بدست آمد. سپس برای هر نمونه چگالی نسبی طبق رابطه شماره ۲ محاسبه گردید که در آن  $\rho_r$  چگالی نسبی،  $\rho_t$  چگالی تئوری و  $\rho$  چگالی تجربی است.

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_t} \times 100 \quad (2)$$

به منظور شناسایی بهتر ترکیب الماس، این پودر توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز عنصری بررسی شد. شکل ۲ این بررسی را نشان می‌دهد. همانطور که تصویر م‌شهود است، ذرات الماس بدون ناخالصی بوده و دارای ساختار چند وجهی است.

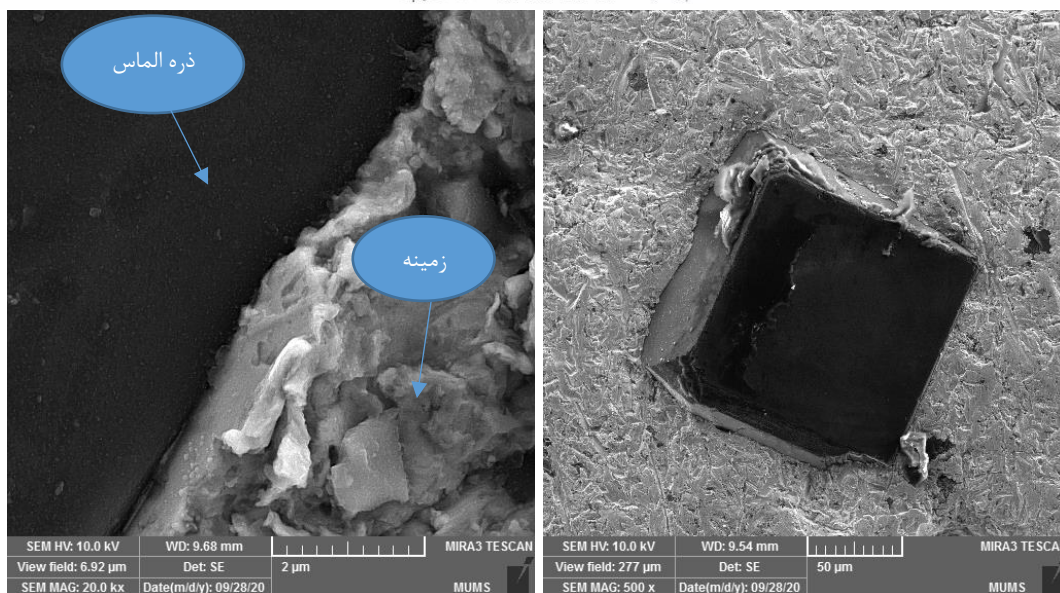


شکل ۲- تصویر SEM و آنالیز EDS برای پودر الماس

### ۳- نتایج و بحث

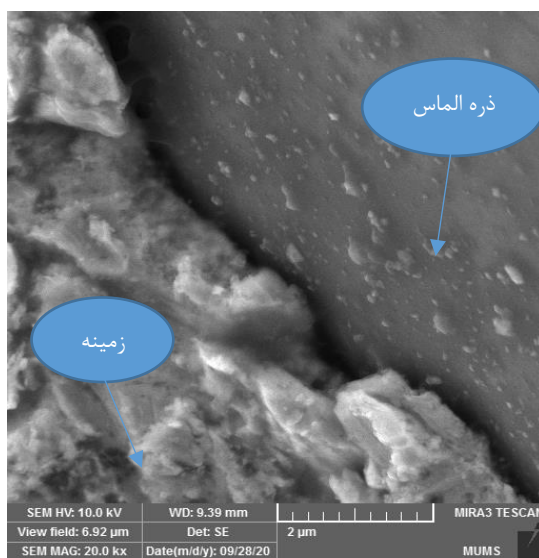
#### ۳-۱- بررسی ریزساختاری

شکل‌های ۳ تا ۷ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) را به ترتیب برای نمونه‌های ۱ تا ۵ نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۳ مشخص است هیچ شکافی میان الماس و زمینه وجود ندارد و این موید پیوند محکم این دو فاز در نمونه شماره ۱ است.



شکل ۳- تصویر SEM نمونه ۱

در شکل ۴، میان زمینه و ذره الماس شکافی بزرگتر از تصویر ۳ وجود دارد و این بیانگر پیوند ضعیف‌تر نمونه ۲ نسبت به نمونه ۱ است.



شکل ۴- تصویر SEM نمونه ۲

تصویر ۵ نمونه شماره ۳ را نشان می‌دهد. این نمونه پایین‌ترین خواص از میان نمونه‌ها را دارد و تصویر SEM نیز موید این است. همانطور که مشاهده می‌گردد شکاف میان زمینه و الماس بسیار زیاد و پیوند الماس و زمینه به هیچ وجه محکم نخواهد بود. این می‌تواند به ترشوندگی کم نیکل و الماس برگردد. کبالت با الماس ترشوندگی خوبی ایجاد کرده [۱۲، ۱۳] که منجر به افزایش چگالی و سختی می‌شود. در نمونه‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ اینگونه است اما در این نمونه که از مقدار نیکل بیشتری به نسبت کبالت استفاده شد، پیوند محکم از دست





رفته است. البته لازم به ذکر است که این پیوند تنها به ترکیب زمینه و ذرات تقویت کننده بستگی ندارد و وابسته به متغیرهای تفجوشی نیز است.



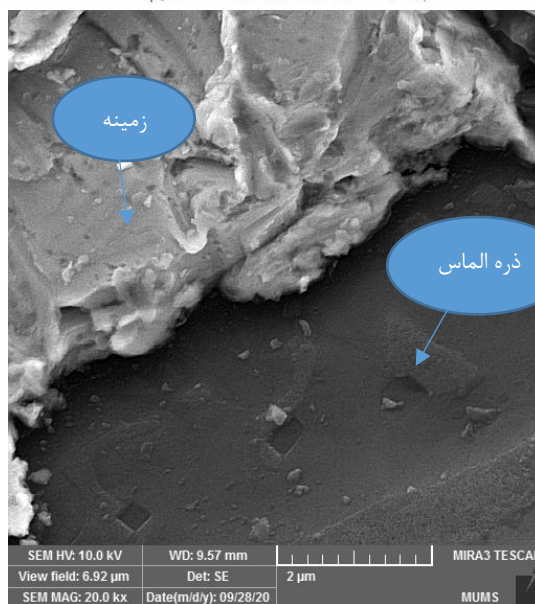
شکل ۵- تصویر SEM نمونه ۳

نمونه شماره ۵ بعد از نمونه ۱ بهترین خواص را داراست. همانطور که در تصویر ۶ هم مشهود است، شکاف میان الماس و زمینه باریک بوده و پیوند بین این دو محکم است.



شکل ۶- تصویر SEM نمونه ۴

در نمونه ۵ نیز پیوند الماس و زمینه خوب نیست اما از نمونه شماره سه محکم‌تر است (شکل ۷).



شکل ۷- تصویر SEM نمونه ۵

به عنوان نتیجه‌ای از مقایسه نمونه های مختلف از تصاویر SEM می توان اظهار داشت که ترتیب پیوستگی پیوندها بدین صورت است:  $۱ < ۴ < ۲ < ۵ < ۳$ .

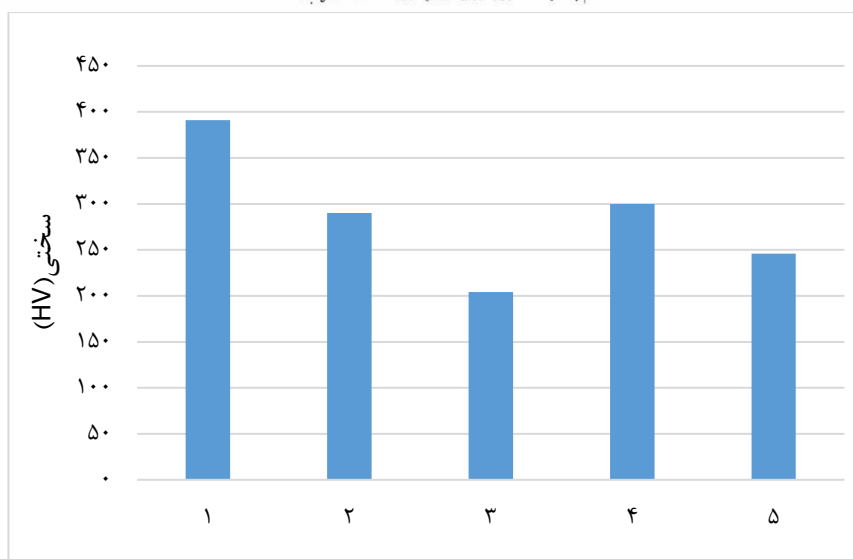
### ۳-۲- بررسی سختی و چگالی

جدول ۲ نتایج چگالی و سختی را برای نمونه‌های تولیدشده نشان می دهد.

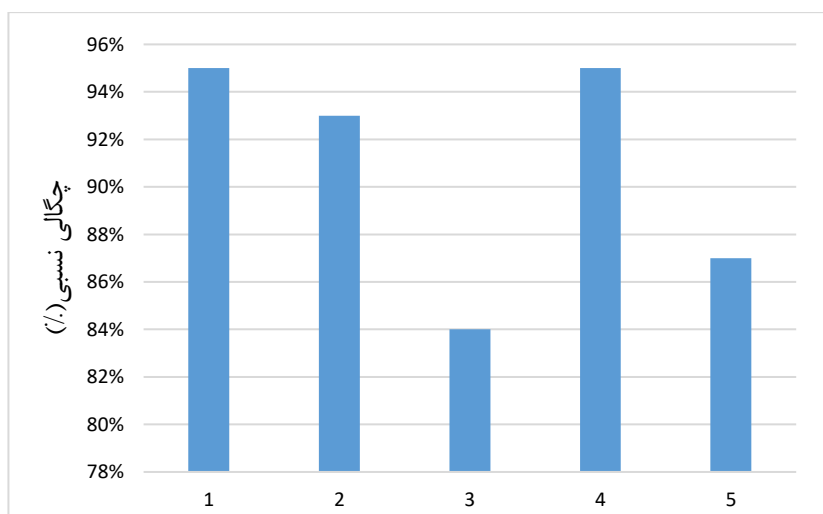
جدول ۲- نتایج چگالی و سختی برای نمونه‌ها

نمونه	دما (°C)	فشار (MPa)	زمان (min)	سختی (HV)	چگالی ارشمیدس (g/cm <sup>3</sup> )	چگالی تئوری (g/cm <sup>3</sup> )	چگالی نسبی
۱	۷۳۰	۴۰	۲/۵	۳۹۱	۸/۴	۸/۸۴۶۱۲	%۹۵
۲	۷۳۰	۴۰	۲/۵	۲۹۰	۸/۱۲۵	۸/۷۴۶۶۲	%۹۳
۳	۷۳۰	۴۰	۲/۵	۲۰۴	۷/۴۵	۸/۸۴۶۹۲	%۸۴
۴	۷۰۰	۴۰	۲/۵	۳۰۰	۸/۴	۸/۸۴۶۱۲	%۹۵
۵	۷۰۰	۴۰	۱۰	۲۴۶	۷/۷	۸/۸۴۶۱۲	%۸۷

به منظور تفسیر بهتر این نتایج از نمودار سختی و چگالی نسبی برحسب نمونه‌ها استفاده شد. شکل ۸ نمودار سختی نمونه‌ها را ارائه می دهد. شکل ۹ نیز نمودار چگالی نسبی را نشان می دهد.



شکل ۸- مقایسه سختی نمونه‌ها.



شکل ۹- مقایسه چگالی نسبی نمونه‌ها.

همانگونه که در نمودارهای سختی و چگالی نسبی مشخص است، نمونه ۱ بهترین مشخصات را دارد پس از آن نمونه ۴ و بعد از آن به ترتیب نمونه‌های ۲، ۳ و ۵ هستند که این ترتیب مشابه با نتایج بررسی‌های ریزساختاری است و نشان‌دهنده هماهنگی میان نتایج سختی و چگالی با ریزساختار است.



### ۳-۳- بررسی ترکیب شیمیایی

با مقایسه نمونه ۱ و ۲ می‌توان اثر کاربرد تنگستن و نانوزیرکونیا را مورد بررسی قرار داد. همانطور که گفته شد [۲۰] نانوذرات زیرکونیا به مقدار بیشتر از حدود ۲/۵٪ وزنی سختی و چگالی را پایین می‌آورد و همانطور که در بررسی ریزساختاری نمونه ۲ مشاهده شد، پیوند بین زمینه و الماس نیز به علت وجود تخلخل‌های زیاد محکم نیست. در نمودارهای سختی و چگالی نیز، نمونه ۲ خواص پایین تری از نمونه ۱ دارد پس می‌توان نتیجه گرفت که کم کردن کاربرد تنگستن و افزایش مقدار نانو زیرکونیوم نتیجه مطلوبی را در پی نخواهد داشت. مقایسه بین نمونه ۱ و ۳ تاثیر افزودن نیکل را نشان می‌دهد. با افزودن نیکل ترشوندگی خوب الماس و زمینه کم شده که این موجب افزایش تخلخل و در نتیجه کاهش سختی خواهد شد. سختی از راه دیگری نیز کاهش می‌یابد و آن سختی کمتر عنصر نیکل به نسبت عنصر کبالت است. بدین ترتیب نیکل به دو دلیل خواص را کاهش می‌دهد: ۱- ترشوندگی کم آن با الماس ۲- سختی کمتر آن به نسبت عنصر کبالت

### ۳-۴- بررسی زمان و دما زینتر

نمونه ۴ و ۵ ترکیب شیمیایی یکسانی داشته اما در زمان‌های مختلف تفجوشی شده‌اند. در شکل ۸ و ۹ مشاهده می‌شود که، سختی و چگالی در نمونه ۵ با افزایش زمان، کم می‌شود. دلیل آن به فرصت زیاد ترکیب برنز برای نفوذ در ساختار برمی‌گردد که موجب کاهش چگالی و در نتیجه سختی می‌شود. پس زمان مناسب برای زینتر ۲/۵ دقیقه است. همچنین نمونه ۱ در دمای ۷۳۰ درجه سانتی‌گراد و نمونه ۴ در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲/۵ دقیقه زینتر شدند. چگالی نسبی نمونه ۴ مشابه نمونه ۱ است اما سختی نمونه یک بیشتر از نمونه ۴ است پس دمای بهینه ۷۳۰ درجه سانتی‌گراد است.

### ۳- نتیجه‌گیری

به‌عنوان نتیجه می‌توان اظهار داشت که:

- ۱- زمان و دمای تفجوشی روی سختی و چگالی تاثیرگذار است. بهترین زمان ۲/۵ دقیقه و بهترین دما ۷۳۰ درجه سانتی‌گراد است.
- ۲- برای نانو زیرکونیا مقدار بهینه‌ای ۲/۵ درصد وزنی وجود دارد و وجود بیشتر از این مقدار سختی و چگالی را کاهش می‌دهد.
- ۳- افزودن نیکل بدلیل سختی پایین این عنصر و ترشوندگی کم آن با الماس، موجب افت خواص می‌شود.



## مراجع

- 1- Bayram, F., "Prediction of sawing performance based on index properties of rocks", Arabian Journal of Geosciences, 2013, vol 6, p:4357-4362.
- 2- Sun, Q., et al., "Segment wear characteristics of diamond frame saw when cutting different granite types", Diamond and Related Materials, 2016. vol68, p:143-151.
- 3- Li, W., et al., "Characterizations and mechanical properties of impregnated diamond segment using Cu-Fe-Co metal matrix", Rare Metals, 2012, vol 31, p:81-87.
- 4- Buyuksagis, I., "The effects of circular sawblade diamond segment characteristics on marble processing performance", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2010. vol 224, p:1559-1565.
- 5- Borowiecka-Jamrozek, J., J. Konstanty, and J. Lachowski, "The Application of a Ball-milled Fe-Cu-Ni Powder Mixture to Fabricate Sintered Diamond Tools", Archives of Foundry Engineering, 2018. vol 18, p:5-8.
- 6- Nulty, D., J. Dwan, and Y. Blake, "Design of a Wear Test Machine for Diamond Saw Segment" The ITB Journal, 2004. vol5, p:3-13.
- 7- Konstanty, J., "Powder metallurgy diamond tools", Elsevier, 2005. vol24, p:1-152
- 8- Ünal, R., "Effect of cobalt to bronze ratio on transverse rupture strength of diamond segments", in Materials science forum. 2007. vol 534, p: 1105-1108
- 9- Konstanty, J. and X. Xu, "Production of diamond sawblades for stone sawing applications" in Key Engineering Materials, 2003. vol:250, p:1-12
- 10- Zaitsev, A., et al., "Diamond tools in metal bonds dispersion-strengthened with nanosized particles for cutting highly reinforced concrete", Journal of Superhard Materials, 2010, vol 32, p:423-431.
- 11- de Oliveira, L.J., G.S. Bobrovnitchii, and M. Filgueira, "Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix", International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2007, vol 25, p:328-335.
- 12- Simsir, M. and K. Öksüz, "Effects of sintering temperature and addition of Fe and B 4 C on hardness and wear resistance of diamond reinforced metal matrix composites", Journal of Superhard Materials, 2013, vol 35, p:369-382.
- 13- Uçun, I., et al., "An investigation on the effect of diamond concentration and matrix material composition in the circular sawing process of granites", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2011. vol 225, p:17-27.
- 14- Ünal, R. and E.A. Gurcay. "Matrix composition effect on the wear behaviour of diamond segments", in Materials science forum, 2007. vol534, p:1113-1116
- 15- Konstanty, J., "Production parameters and materials selection of powder metallurgy diamond tools", Powder Metallurgy, 2006. vol49, p:299-306.
- 16- Tillmann, W., et al. "Comparison of different metal matrix systems for diamond tools fabricated by new current induced short-time sintering processes", in Conference Proceedings Powder Metallurgy World Congress PM, 2010. vol 3. p:531-538
- 17- Kahraman, y., et al., "Conventional sintering behavior of matrix materials used for diamond beads", Materials Testing, 2017. vol59, p:647-659
- 18- Bulut, B., et al., "Investigation and Application of Fe-Co-Cu Based Diamond Cutting Tools with Different Bronze Content Used in Marble Production", in Materials Design and Applications Springer, 2017. vol 65. p:307-314.
- 19- Liao, Y. and S. Luo, "Effects of matrix characteristics on diamond composites", Journal of materials science, 1993, vol 28, p:1245-1251.

۲۰- فهیمه مرادی حسن آباد، سید عبدالکریم سجادی، «بررسی تاثیر نوع و مقدار ذرات سازنده سگمنت های الماسه روی خواص مکانیکی آن‌ها»، سومین کنفرانس ملی مهندسی مواد، متالورژی و معدن ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، بهمن ماه



21- BĄCZEK, E., P. PUTYRA, and M. PODSIADŁO, "Wear resistance of the diamond-impregnated specimens fabricated using the SPS process", diamond, 2017. vol 100. p:550.

22- Levashov, E., V. Kurbatkina, and Z. Alexandr, "Improved mechanical and tribological properties of metal-matrix composites dispersion-strengthened by nanoparticles", Materials, 2009, vol 3, p:97-109.