

iMat conference 2015

چهارمین کنفرانس مشترک انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری بین‌المللی **مواد مهندسی و متالورژی**

۴th International Engineering Materials & Metallurgy conference

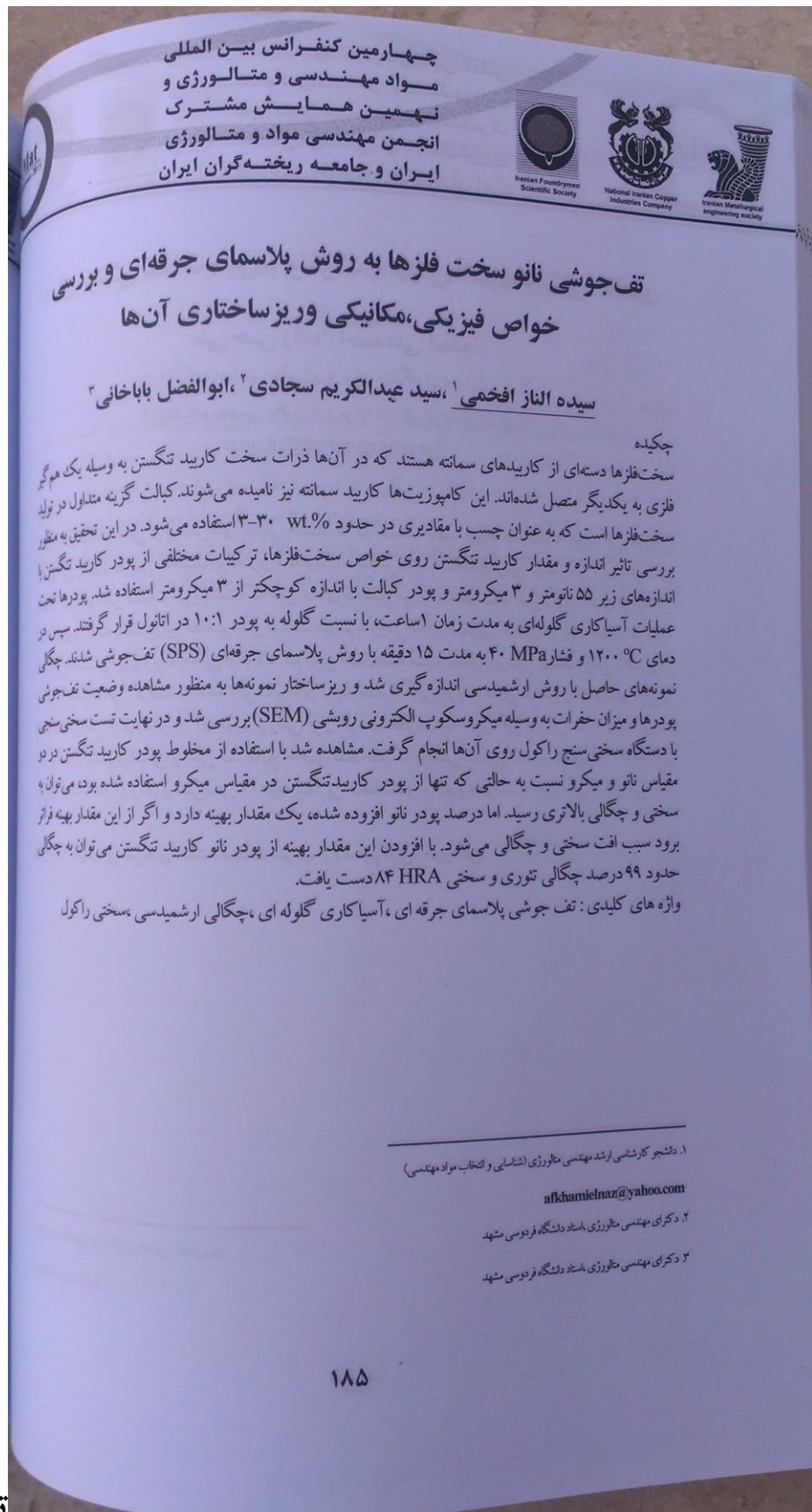
۱۹ و ۲۰ آبان ۱۳۹۴ - دانشگاه علم و صنعت ایران
10 - 11 Nov., 2015 - Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran

کواهی ارائه مقاله
ضمن تشکر و قدردانی از ارائه مقاله با عنوان
تف جوشی نانو سخت فلزها به روش پلاسمای جرقه‌ای و بررسی خواص فیزیکی،
مکانیکی و ریزساختاری آنها
د. مهدین کترانس بن‌اللی مهندسی مواد و متالورژی و نهمین کترانس مشترک انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران
این کواهی نامه بر رویندگان مقاله:
سیده الناز افخمی، سید عبدالکریم سجادی، ابوالفضل باباخانی
اطلاع می‌گردد. موفقیت روز افزون شما را در پیشرفت علم و فناوری از خداوند متعال خواستاریم.

مهم‌ترتی صافی
نایندة انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران

منصور سلطانیه
دیر کترانس

مرتمی نندرجی
دیر کترانس
دیر علمی کترانس



تف جوشي نانو سخت فلزها به روش پلاسمای جرقه‌ای و بررسی خواص فیزیکی، مکانیکی و ریزساختاری آنها

سیده الناز افخمی^۱، سید عبدالکریم سجادی^۲، ابوالفضل باباخانی^۳

چکیده

سخت فلزها دسته‌ای از کاربیدهای سماتنه هستند که در آنها ذرات سخت کاربید تنگستن به وسیله یک هم گیر فلزی به یکدیگر متصل شده‌اند. این کامپوزیت‌ها کاربید سماتنه نیز نامیده می‌شوند. کبالت گزینه متداول در تولید سخت فلزها است که به عنوان چسب با مقادیری در حدود ۳۰-۳ wt.% استفاده می‌شود. در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر اندازه و مقدار کاربید تنگستن روی خواص سخت فلزها، ترکیبات مختلفی از پودر کاربید تنگستن با اندازه‌های زیر ۵۵ نانومتر و ۳ میکرومتر و پودر کبالت با اندازه کوچکتر از ۳ میکرومتر استفاده شد. پودرها تحت عملیات آسیاکاری گلوله‌ای به مدت زمان ۱ ساعت، با نسبت گلوله به پودر ۱۰:۱ در اتانول قرار گرفتند. سپس در دمای ۱۲۰۰ °C و فشار ۴۰ MPa به مدت ۱۵ دقیقه با روش پلاسمای جرقه‌ای (SPS) تف جوشي شدند. چگالی نمونه‌های حاصل با روش ارشمیدسی اندازه گیری شد و ریزساختار نمونه‌ها به منظور مشاهده وضعیت تف جوشي پودرها و میزان حفرات به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شد و در نهایت تست سختی سنجی با دستگاه سختی سنج راکول روی آنها انجام گرفت. مشاهده شد با استفاده از مخلوط پودر کاربید تنگستن در دو مقیاس نانو و میکرو نسبت به حالتی که تنها از پودر کاربید تنگستن در مقیاس میکرو استفاده شده بود، می‌توان به سختی و چگالی بالاتری رسید. اما درصد پودر نانو افزوده شده، یک مقدار بهینه دارد و اگر از این مقدار بهینه فراتر برود سبب افت سختی و چگالی می‌شود. با افزودن این مقدار بهینه از پودر نانو کاربید تنگستن می‌توان به چگالی حدود ۹۹ درصد چگالی تئوری و سختی ۸۴ HRA دست یافت.

Keywords: spark plasma sintering, ball-milling, Archimedes density

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی (شناسایی و انتخاب مواد مهندسی)

afkhami.naz@yahoo.com

۲. دکترای مهندسی متالورژی، استاد دانشگاه فردوسی مشهد

۳. دکترای مهندسی متالورژی، استاد دانشگاه فردوسی مشهد

۱. مقدمه

از کاربردهای سمانته در مواردی که نیاز به مقاومت به سایش، فرسایش و خوردگی باشد استفاده می شود و به همین دلیل است که این مواد باید درجه بالایی از سختی را داشته باشند. به علاوه این مواد به فشار و دماهای خیلی بالا، بسیار مقاوم هستند و تحت این شرایط دچار تغییر شکل نمی شوند. این خواص فیزیکی باعث می شود که از سخت فلزها در ساخت ابزارهای برش، حفره زنی، ماشین کاری و استخراج استفاده شود [۱]. از دیگر کاربردهای مهم کاربردهای سمانته می توان به مهمات نافذ درون زره، وسایل ورزشی مانند عصا و میخ های کوهنوردی و مصارف صنعتی و خانگی مانند ساچمه ها و رینگ های ضد سایش، اشاره کرد. سخت فلزها از طریق فرآیند تف جوشی^۴ تولید می شوند. اولین مرحله از فرآیند تولید سخت فلزها، تهیه مخلوطی مناسب از پودرهای اولیه است. کبالت گزینه متداول بایندر در تولید سخت فلزها محسوب می شود اما می توان به عنوان بخشی از کبالت از نیکل و آهن نیز استفاده نمود [۲]. روش های گوناگونی (اعم از اختلاط دستی، فرکانسی و آسیا کاری) برای اختلاط پودرها بیان شده است، اما در این میان روش آسیا کاری و استفاده از آسیای مکانیکی متداول ترین روش برای تولید یک مخلوط مناسب از پودرهای ترکیب شده می باشد. در تحقیقات متعددی که تاکنون در زمینه تولید سخت فلزها صورت گرفته است، روش آسیا کاری گلوله ای^۵ پر کاربردترین روش برای اختلاط پودرها بوده است. متغیرهای مهم در فرآیند بالمیل سرعت چرخش، زمان چرخش و نسبت گلوله به پودر می باشد. بعد از این که مخلوط پودرها آماده شد نوبت به عملیات تف جوشی می رسد که یکی از روش های شکل دهی مواد فلزی و سرامیکی می باشد. انتخاب روش مناسب برای تف جوشی در تعیین خواص سخت فلز موثر می باشد. بعضی روش های تف جوشی قدیمی وجود دارند که مضرات اساسی برای تولید قطعات حجمی با ریزساختارهای فوق ریز دارند. برای مثال در قدیم تف جوشی کاربردهای سمانته در کوره ای با اتمسفر محافظ یا در کوره خلا در دمای شکل گیری فاز مایع صورت می گرفته است. در این روش انتقال حرارت به قطعه فشرده از بیرون به داخل از طریق رسانایی و هدایت و تابش صورت می گیرد، بنابراین دما بسیار آهسته افزایش می یافته است، در نتیجه نیاز به زمان طولانی برای پایان تف جوشی بوده است، به همین جهت دست یابی به کاربردهای سمانته ریزدانه مشکل بوده است زیرا دانه ها در ضمن زمان طولانی تف جوشی در دمای بالا از طریق انحلال ذرات ریزتر و رسوب آنها بر روی ذرات بزرگتر رشد خواهند کرد [۳]. بنابراین کنترل رشد دانه غیرعادی یکی از نکات کلیدی در تولید کامپوزیت های WC-Co فوق ریزدانه محسوب

4. Sintering

5. Ball-mill

می شود. می توان با تکنولوژی های خاص تف جوشی که دارای نرخ حرارت دهی سریع تر، نرخ چگالش بیشتر، دمای تف جوشی کمتر و زمان نگهداری کوتاه تر هستند از رشد دانه در یک محدوده مشخص و بیشتر از یک اندازه معین جلوگیری کرد، مانند تف جوشی ریزموج (میکروویو)، پرس گرم سریع، پلاسما جرقه ای^۶ و [۴]. به ویژه روش پلاسما جرقه ای که یک فرآیند چگالش جدید می باشد که شامل حرارت دهی سریع است و بر اساس عبور جریان الکتریکی پالسی از میان قالب، سمبه و قطعه پودری فشرده شده که تحت فشار اعمالی قرار داده شده اند، کار می کند که باعث می شود ذرات خود به خود و فوراً گرم شوند. فرآیند چگالش سریع بر اثر نفوذ مرزدانه ای، نفوذ سطحی، نفوذ حجمی و تغییر فرم پلاستیک اتفاق می افتد [۴]. زمان حرارت دهی کوتاه می شود، از رشد دانه جلوگیری می شود، چرخه آماده سازی کوتاه می شود و از اتلاف انرژی جلوگیری می گردد. در ضمن تف جوشی پلاسما جرقه ای، قطعات فشرده شده یکنواخت و با کیفیت بالا می تواند در دماهای پایین تر و زمان های کوتاه تر نسبت به روش های قدیمی تف جوشی، تولید شود. راه دیگر برای جلوگیری از رشد دانه در ضمن فرآیند تف جوشی سخت فلزها، افزودن مواد بازدارنده رشد دانه در مقادیر کنترل شده و بهینه است [۵،۶،۷].

تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه تولید کاربیدهای سماتنه و خواص آن ها صورت گرفته است به عنوان مثال Shixian Zhao و همکارانش [۸] در سال ۲۰۰۷ در چین به بررسی تاثیر اندازه ذرات و شرایط اتصال پودرهای اولیه بر روی تف جوشی پرداختند. S.G Huang و همکارانش [۹] روی اثر پودرهای اولیه در ریزساختار کامپوزیت های تولید شده کار کردند. Xuemei Liu و همکارانش [۱۰] توزیع دمایی و شکل گیری گلوئی در ذرات ترکیب شده را بررسی کردند. در تحقیق حاضر ما با تولید ترکیبات مختلف از کاربیدهای سماتنه اثر افزودن پودر نانو کاربید تنگستن به زمینه کامپوزیت و تاثیر آن در سختی، چگالی و ریزساختار را بررسی می کنیم و همچنین به دنبال تعیین درصد های بهینه از نانو کاربید تنگستن و کبالت میکرونی هستیم به طوری که بهترین خواص حاصل گردد.

۲. مواد و روش تحقیق

جهت تولید نانو کامپوزیت کاربید تنگستن - کبالت از پودر میکرونی کاربید تنگستن و کبالت با اندازه زیر ۳ میکرومتر و از پودر نانو کاربید تنگستن با اندازه ۵۵ نانومتر استفاده شد. برای تعیین تاثیر درصد پودر نانو کاربید تنگستن

^۶. Spark plasma sintering (SPS)

و پودر کبالت افزوده شده ترکیبات مختلفی از کاربرد تنگستن (در دو مقیاس نانو و میکرو) و کبالت تهیه شد تا از روی خواص نانو کامپوزیت تولید شده مقادیر بهینه برای پودر نانو کاربرد تنگستن و کبالت به دست آید. در جدول ۱، درصد وزنی پودر کاربرد تنگستن و کبالت در نمونه‌های تهیه شده آمده است.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی نمونه‌ها بر حسب درصد وزنی

نمونه	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D4
Co (μm)wt.%	۸	۸	۱۰	۱۰	۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۲	۱۰	۱۰	۸	۵	۸	۱۲
WC(nm)wt.%	۵	۱۰	۵	۱۰	۰	۰	۱۵	۲۰	۱۰	۸	۱۲	۱۲	۱۰	۰	۱۲
WC(μm)wt.%	۸۷	۸۲	۸۵	۸۰	۹۵	۹۰	۷۵	۷۰	۷۸	۸۲	۷۸	۸۰	۸۵	۹۲	۷۶

جهت محاسبه میزان پودر مورد نیاز برای هر نمونه، حجم هر کدام از نمونه‌ها را 1cm^3 در نظر گرفتیم. فرض کردیم چگالی پودر مطابق با چگالی پودر کاربرد تنگستن باشد، زیرا درصد وزنی آن خیلی بیشتر از کبالت است. مطابق با رابطه ۱ وزن پودر مورد نیاز برای هر نمونه محاسبه شد.

(۱)

$$\rho = \frac{m}{v}$$

لازم به ذکر است که چگالی کاربرد تنگستن $15,63\text{g/cm}^3$ می‌باشد. بنابراین از رابطه بالا وزن پودر لازم برای هر نمونه $15,63$ گرم به دست می‌آید. از حاصل ضرب این عدد در مقادیر درصد وزنی که برای هر نمونه در جدول ۱ آمده است، مقدار لازم از هر پودر برای نمونه‌های مختلف به دست می‌آید. مطابق با مقادیر محاسبه شده، پودرهای لازم برای هر نمونه با ترازو اندازه گیری شد و برای مرحله مخلوط‌سازی با دستگاه آسیاب گلوله ای آماده شد. عملیات آسیابکاری گلوله ای با نسبت گلوله به پودر ۱:۱۰، به مدت زمان ۱ ساعت، با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه (rpm)، در اتانول بر روی نمونه‌ها انجام شد. بعد از این که نمونه‌ها از دستگاه آسیاب گلوله ای خارج شدند، آماده انجام عملیات تف جوشی بودند. تف جوشی برای تمام نمونه‌ها در دمای 1200°C و فشار 40 MPa به مدت زمان

۱۵ دقیقه انجام شد. پس از آماده شدن نمونه‌های تف جوشی شده، به منظور بررسی و مقایسه خواص آن‌ها آزمایشاتی به شرح زیر انجام گرفت:

برای تعیین چگالی، نمونه‌ها پس از تف جوشی، ابتدا تحت عملیات سنگ زنی مغناطیسی قرار گرفتند تا پوسته‌های گرافیتی و پلیسه‌ها از سطح نمونه به طور کامل حذف شود، سپس با روش غوطه وری ارشمیدس، چگالی آن‌ها تعیین شد. پس از انجام عملیات متالوگرافی شامل سمباده و پولیش، جهت بررسی دقیق ریزساختارهای تشکیل شده، وضعیت تف جوشی پودرها و تخلخل‌های موجود در ساختار با میکروسکوپ الکترونی روبشی^۷، از نقاط مختلف سطح نمونه‌ها در بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰۰ برابر تصویربرداری شد. جهت مشخص شدن ترکیب شیمیایی و عناصر موجود در فازهای مشاهده شده در ساختار نمونه‌ها، از آن‌ها تست EDS گرفته شد. در نهایت برای مشخص شدن میزان سختی نمونه‌ها، از ۱۵ نقطه مختلف در سطح نمونه آزمون سختی در مقیاس راکول گرفته شد و سپس میانگین آن محاسبه شد تا بدین ترتیب عدد دقیق‌تری به دست آید.

۳. نتایج و بحث

چگالی تئوری، حقیقی و نسبی نمونه‌ها در جدول ۲ و سختی نمونه‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲: چگالی تئوری، حقیقی و نسبی نمونه‌های تولید شده بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب

نمونه	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	D ₁	D ₂	D ₄
تئوری ρ	۱۵,۱۵	۱۵,۱۵	۱۴,۷۰	۱۴,۷۰	۱۵,۰۸	۱۴,۷۰	۱۴,۷۰	۱۴,۷۰	۱۴,۴۹	۱۴,۷۰	۱۴,۷۰	۱۵,۱۵	۱۵,۰۸	۱۵,۱۵	۱۴,۴۹
حقیقی ρ	۱۴,۴۰	۱۴,۷۵	۱۳,۰۱	۱۴,۶۵	۱۲,۰۷	۹,۷۴	۱۱,۴۲	۱۱,۳۰	۱۰,۰۹	۱۳,۴۶	۱۱,۴۴	۱۲,۴۱	۱۴,۶۲	۱۴,۳۵	۹,۹۵
نسبی ρ	۰,۹۵	۰,۹۷	۰,۸۸	۰,۹۹	۰,۸۰	۰,۶۶	۰,۷۷	۰,۷۶	۰,۷۰	۰,۹۱	۰,۷۸	۰,۸۲	۰,۹۶	۰,۹۴	۰,۶۸

⁷ Scanning electron microscopy (SEM)

جدول ۳: سختی نمونه‌ها بر حسب راکول A

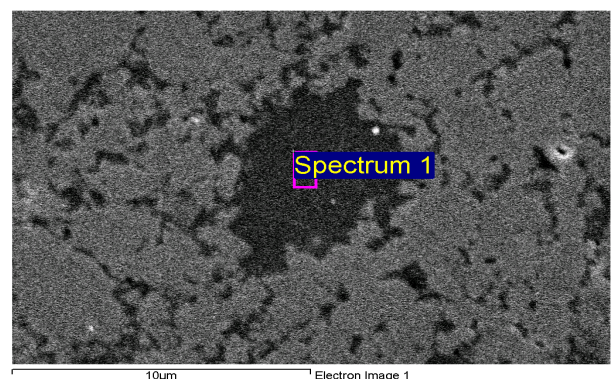
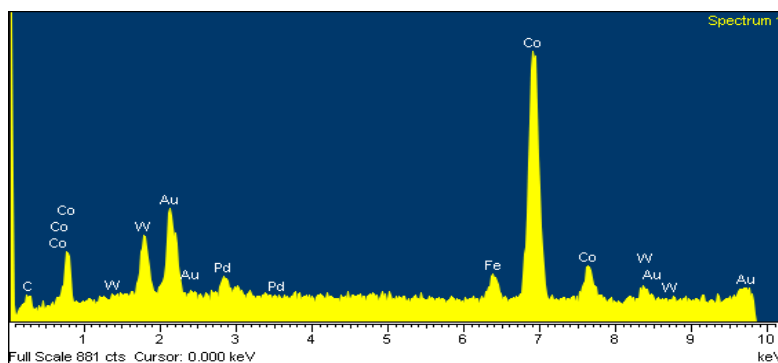
نمونه	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	D ₁	D ₂	D ₄
سختی (HRA)	۸۱,۳	۸۲,۵	۶۹,۱	۸۴	۶۵,۹	۵۰,۶	۶۰,۲	۵۹	۶۰,۸	۸۱,۶	۶۰,۸	۷۰	۶۷	۸۰	۵۸,۲

اگر چگالی و سختی نمونه‌هایی که دارای درصد کبالت یکسان بوده‌اند باهم مقایسه شوند، می‌توان اثر درصد نانو کاربید تنگستن را بر روی چگالی، میزان چگالش در ضمن فرآیند تف جوشی و سختی بررسی کرد. از نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت، اضافه کردن نانو کاربید تنگستن تا مقدار ۱۰ درصد وزنی باعث بهبود چگالی می‌شود. در حقیقت نانو ذرات کاربید تنگستن در فاز بایندر کبالت که در لا به لای دانه‌های میکرونی کاربید تنگستن قرار گرفته است، توزیع می‌شود و به این طریق به بهبود اتصال دانه‌های میکرونی کاربید تنگستن کمک می‌کند، در نتیجه میزان حفرات کاهش و چگالی افزایش می‌یابد. کاربید تنگستن نسبت به کبالت دارای سختی و استحکام بالاتری می‌باشد، بنابراین وقتی نانو ذرات کاربید تنگستن در فاز بایندر کبالت توزیع می‌شود بهبود خواص مکانیکی محل اتصال دانه‌ها را سبب می‌شود. اضافه کردن نانو کاربید تنگستن بیشتر از ۱۰ درصد وزنی، کاهش چگالی را به همراه دارد. یکی از اثرات مهم منفی نانو ذرات افزایش تخلخل در ساختار است که ناشی از تجمع و کلوخه ای شدن^۸ و عدم چسبندگی آنها به همدیگر است. زمانی که فاز بایندر کبالت به حد کافی موجود نباشد تا تمام ذرات نانو کاربید تنگستن در آن توزیع شوند و اتصالات کافی بین آنها برقرار شود، این اثر مهم بروز می‌کند و سبب افت چگالی می‌شود. به منظور بررسی اثر کبالت روی چگالی و سختی، نمونه‌هایی که درصد نانو کاربید تنگستن یکسان و درصد کبالت متفاوت دارند با یکدیگر مقایسه می‌شود. از این مقایسه می‌توان دریافت، زمانی که مقدار نانو کاربید تنگستن ۰، ۱۲ و ۵ درصد وزنی باشد با افزایش کبالت تا ۸ درصد وزنی، افزایش چگالی را داریم و با افزودن کبالت بیشتر از ۸ درصد وزنی، با افت چگالی روبرو می‌شویم. نکته قابل توجه در مبحث سخت فلزها این است که ضخامت بایندر اطراف دانه‌های کاربید تنگستن نباید از یک مقدار معین تجاوز کند. این مقدار معین، ضخامت موثر نام دارد. اگر مقدار کبالت از حد بهینه بیشتر باشد ضخامت بایندر اطراف دانه‌های میکرونی کاربید تنگستن از ضخامت موثر بیشتر می‌شود در نتیجه اتصال دانه‌ها به خوبی انجام نمی‌شود، تخلخل‌ها و افت چگالی بروز می‌کند. از

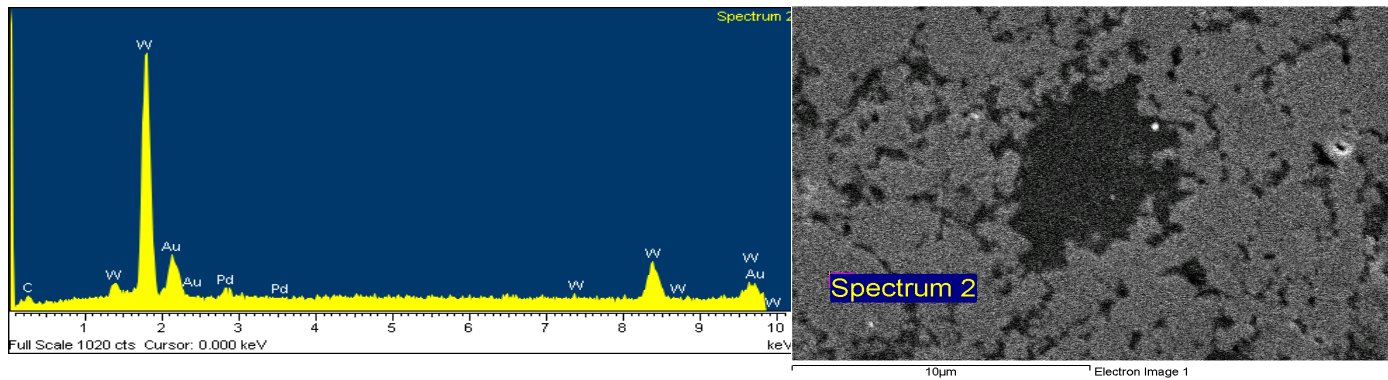
⁸ Agglomeration

طرف ديگر بايد به طور هم زمان به اثرات مثبت و منفي نانوذرات نيز اشاره کرد. همان طور که توضيح داديم اگر مقدار نانو ذرات کافي باشد می تواند در فاز کبالت بين دانه های میکرونی کاربرد تنگستن توزیع شود و از اين طريق به بهبود اتصال دانه ها و افزايش چگالی کمک کند و اگر مقدار آن بیش از حد بهينه باشد سبب بروز تخلخل ها در ساختار و افت چگالی می شود. بنابراین با در نظر گرفتن هم زمان تمام اثرات مثبت و منفي کبالت و نانوذرات کاربرد تنگستن می توان نتیجه گرفت، زمانی که مقدار نانو ذرات کمتر از حد بهينه (۵ درصد وزنی) یا بیشتر از آن (۱۲ درصد وزنی) باشد با افزودن کبالت تا ۸ درصد وزنی بهبود چگالی را خواهیم داشت. اما اگر کبالت از اين مقدار بیشتر یا کمتر شود، اثرات منفي آن که به ترتیب عبارتند از تجاوز ضخامت بایندر از ضخامت موثر و یا کمبود بایندر کافي بروز می کند و با اثرات منفي ناشی از کم یا زیاد بودن نانو ذرات همراه می شود و چگالی افت می کند. اما اگر مقدار نانو کاربرد تنگستن در حد بهينه ۱۰ درصد وزنی باشد با افزودن کبالت تا ۱۰ درصد وزنی می توان به بیشترین چگالی که نزدیک به چگالی تئوری نمونه است رسید. بنابراین مقادیر بهينه برای نانو ذرات و کبالت، ۱۰ درصد وزنی می باشد.

با بررسی تصاویر SEM گرفته شده از سطح نمونه ها نیز می توان اين نتایج را تصدیق نمود. در تصاویر گرفته شده از تمام نمونه ها تنها دو فاز خاکستری و سیاه دیده می شود. تست EDS گرفته شده از فازها نشان داد که فاز خاکستری مربوط به کاربرد تنگستن و فاز سیاه مربوط به کبالت می باشد.

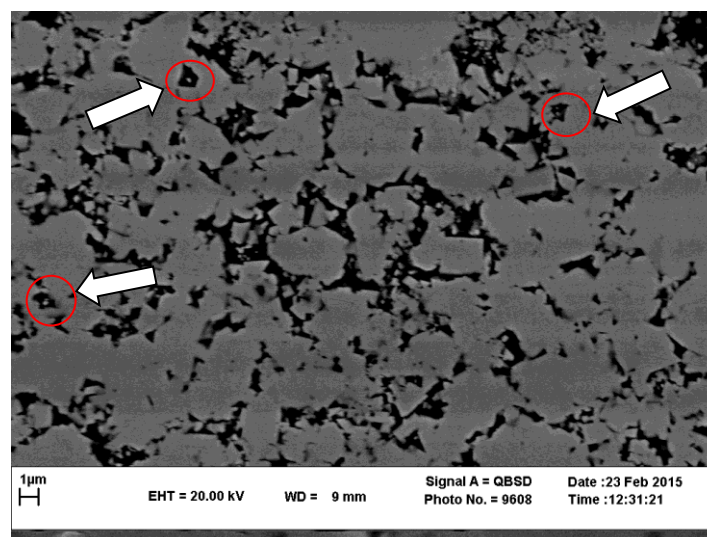


شکل ۱. تست EDS مربوط به فاز سیاه رنگ (کبالت) موجود در تصاویر SEM



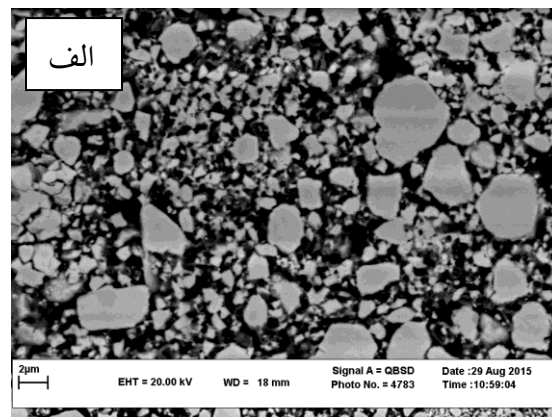
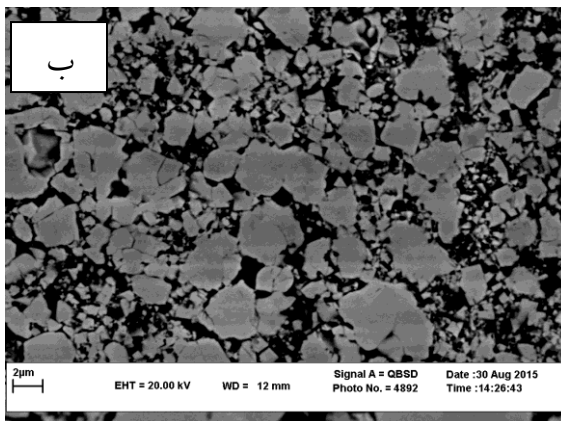
شکل ۱. نسبت دانه‌ها مربوط به فاز کستری رنگ (کاربید تنگستن) موجود در تصاویر SEM

تصویر زیر مربوط به نمونه A4 می‌باشد که به چگالی نزدیک به چگالی تئوری رسیده است. نانو ذرات کاربید تنگستن که در فاز بایندر کبالت قرار گرفته اند و دانه‌های میکرونی کاربید تنگستن را به یکدیگر متصل کرده‌اند در تصویر قابل مشاهده هستند و علامت گذاری شده‌اند. حفرات مشاهده شده در ریز ساختار بسیار ناچیز بوده، دانه‌ها به صورت یکپارچه به یکدیگر متصل شده‌اند و مرز بین آنها مشخص نیست.



شکل ۳. تصویر SEM از نمونه A4.

تصاویر زیر مربوط به نمونه‌های B2 و D4 است که کمترین سختی و چگالی را داشته‌اند. تصاویر به وضوح نشان می‌دهند که تف جوشی به درستی انجام نگرفته است، مرز بین دانه‌های کاربید تنگستن کاملاً مشخص است زیرا درصد وزنی کبالت زیاد بوده و ضخامت آن از ضخامت موثر بیشتر شده است و دانه‌های کاربید تنگستن به صورت مجزا از هم قرار گرفته‌اند و به صورت یکپارچه در یکدیگر ادغام نشده‌اند، به همین جهت چگالی و سختی افت محسوسی داشته است. اگر نمونه B2 را با نمونه A4 مقایسه کنیم، هر دو دارای ۱۰ درصد وزنی کبالت هستند اما نمونه A4، ۱۰ درصد وزنی نانو کاربید تنگستن دارد که این نانو ذرات در فاز کبالت قرار گرفته و دانه‌های میکرونی کاربید تنگستن را به صورت یکپارچه در یکدیگر ادغام می‌کنند و سبب بهبود خواص و تف جوشی کمک می‌گردند. این در حالی است که در نمونه B2 نانو ذرات به کار نرفته است و خواص و تف جوشی به شدت افت کرده است.



شکل ۴. تصویر SEM از نمونه‌های با کمترین سختی و چگالی الف (B2، B4)

۴. نتیجه گیری

سخت فلزها دسته‌ای از کاربیدهای سماتته هستند که در آن‌ها ذرات سخت کاربید تنگستن به وسیله یک هم‌گیر فلزی به یکدیگر متصل شده‌اند. کبالت گزینه متداول در تولید سخت فلزها است که به عنوان هم‌گیر با مقادیری در حدود ۳-۳۰ wt.% استفاده می‌شود. سخت فلزها از طریق فرآیند تف جوشی تولید می‌شوند. رشد دانه در ضمن تف جوشی سبب افت خواص آن‌ها می‌شود بنابراین استفاده از روش پلاسمای جرقه‌ای به دلیل این که دما و زمان تف

جوشی را کاهش می دهد بهترین روش برای تف جوشی سخت فلزها محسوب می شود. علاوه بر این اندازه ذرات پودرهای اولیه مورد استفاده در خواص نمونه های تولید شده تاثیر گذار است. استفاده از نانو کاربرد تنگستن با یک درصد بهینه می تواند به بهبود اتصال دانه های میکرونی کاربرد تنگستن کمک کند. میزان کبالت اضافه شده به عنوان بایندر نیز باید یک مقدار کنترل شده باشد تا ضخامت موثری از بایندر اطراف دانه های کاربرد تنگستن شکل بگیرد. نانو ذراتی که در لایه کبالت به دام می افتند به اتصال یکپارچه دانه های میکرونی کاربرد تنگستن و بهبود خواص کمک می کنند. ترکیبی که دارای ۱۰ درصد وزنی کبالت و ۱۰ درصد وزنی نانو کاربرد تنگستن است بهترین خواص را نشان می دهد.

۵. مراجع

1. Seung I. Cha , Soon H. Hong , Byung K. Kim , “Spark plasma sintering behavior of nanocrystalline WC-10Co cemented carbide powders” , Journal of materials science and Engineering A , 351 ,2003,31-38
2. In-Jin Shon , In-Kyoon Jeong , In-Yong Ko , Jung-Mann Doh , Kee-Do Woo , “sintering behavior and mechanical properties of WC-10Co, WC-10Ni and WC-10Fe hard materials produced by high-frequency induction heated sintering” , Journal of ceramics international , 35, 2009, 339-344
3. WANG Xingqing , XIE Yingfang , GUO Hailiang , O.Van der Biest and J.Vleugels , “Sintering of WC-Co powder with nanocrystalline WC by spark plasma sintering” , Journal of RARE METALS , 25 , 2006, p.246
4. Xiaoguang Sun and You Wang and D.Y.Li , “ Mechanical properties and erosion resistance of ceria nano-particle-doped ultrafine WC-12Co composite prepared by spark plasma sintering “ , Journal of Wear , 301, 2013, 406- 414
5. Xiaoyong Ren , Zhijian peng , Ying peng , “Ultrafine binderless WC based cemented carbides with varied amounts of AlN nano- powder fabricated by spark plasma sintering” ,Int.Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 41, 2013, 308-314
6. D.Sivaprahasam , S.B.Chandrasekar , R.sundaresan , “Microstructure and mechanical properties of nanocrystalline WC-12Co consolidated by spark plasma sintering” , International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 25, 2007, 144-152
7. SUN Lan, JIA Cheng – chang , LIN Chen – guang and CAO Rui-jun, “VC Addition Prepared Ultrafine WC-11Co Composites by Spark Plasma Sintering” , Journal of Proceedings of Sino- Swedish Structural Materials Symposium , 2007, 85-89

8. Shixian Zhao, Xiaoyan Song, Jiuxing Zhang and Xuemei Liu, " Effects of scale combination and contact condition of raw powders on SPS sintered near-nanocrystalline WC-Co alloy" , Journal of Materials Science and Engineering A , 473, 2008, 323-329
9. S.G Huang ,K. Vanmeensel, L.Li, O.Van der Biest and J.Vleugels, "Influence of starting powder on the microstructure WC-Co hardmetals obtained by spark plasma sinterin" , Journal of Materials Science and Engineering A, 475, 2008, 87-91
10. Xuemei Liu, Xiaoyan Song, Jiuxing Zhang and Shixian Zhao, " Temperature distribution and neck formation of WC-Co combined particles during spark plasma sintering" ,Journal of Materials Science and Engineering A, 488, 2008, 1-7

Spark plasma sintering of nano hardmetals and study their mechanical, physical and microstructural properties

Seyedeh elnaz afkhani, seyed abolkarim sajjadi, abolfazl babakhani

*Department of metallurgy and materials science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
afkhamielnaz@yahoo.com*

Abstract

Hard metals are metal matrix (typically cobalt) composites that tungsten carbide particles operate as reinforcement. These composites are also known as cemented carbides. Cobalt is the traditional option for binder in the production of hard metals and nowadays over than 90% of all hard metals based on WC, preferably exploit Co as metallic glue with approximately 3-30 wt.%. In this study, in order to consider the influence of tungsten carbide's particle size and quantity on hard metals properties, different composition of tungsten carbide powder by dimensions such as 55 nanometer and 3 micrometer and cobalt powder with under 3 micrometer particle size were provided. Powder mixtures were placed under operation of ball-mill for 1 hour. Then the mixed powders are lied at a temperature of 1200° C and a pressure of 40 MPa for 15 minutes under spark plasma sintering. The Archimedes density measured and the microstructure of specimens were considered with SEM and Eventually, the hardness test done. Considering a mixture of tungsten carbide powder in two scales such as nano and micro could reach a higher hardness and density rather than the case using tungsten carbide powder only in micro scale. But the added percentage of nano powder has an optimal value, and if it goes beyond this optimum can result in loss of hardness and density. With adding this optimum nano tungsten carbide powder can rich to near theoretical density and the hardness of 84HRA.

Keywords: spark plasma sintering, ball-milling, Archimedes density