

6th International Conference
on Materials and
Metallurgical Engineering



ششمین کنفرانس بین المللی
مهندسی مواد و متالورژی

یازدهمین کنفرانس مشترک انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته گری ایران

کواهی ارائه مقاله

ضمن تشکر و قدردانی از ارائه مقاله با عنوان

مطالعه‌ی خواص مکانیکی نانوسخت فلزهای گرا دیانی WC-Co
ساخته شده به روش تف جوشی پلاسما ی جرقه‌ای

در ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی

این کواهی به نویسندگان مقاله:

سید احسان قریشی، محمد حسن فرشیدی، سید عبدالکریم سجادی

اعطای گردد. موفقیت روز افزون شما را پیشرفت علم و فناوری از خداوند متعال خواستاریم.

محمود نبیلی احمد آبادی
رئیس انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران

محمد تقی صالحی
دبیر کنفرانس

جلال حمازی
رئیس انجمن علمی ریخته گری ایران

28-29, October, 2017
Olympic Hotel, Tehran, Iran



۶ و ۷ آبان ۱۳۹۶
هتل المپیک تهران

مطالعه‌ی خواص مکانیکی نانوسخت‌فلزهای گرادانی WC-Co ساخته شده به روش تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای

سید احسان قریشی^۱، محمد حسن فرشیدی^۲، سید عبدالکریم سجادی^۳

چکیده

سخت‌فلزهای گرادانی برای کاربردهای خاص ساخته می‌شوند و در بسیاری از موارد دارای ترکیب منحصر به فردی از چند خاصیت مختلف هستند که نمی‌توان در کامپوزیت‌های معمولی به آن‌ها دست یافت. در این تحقیق نانوسخت‌فلزهای گرادانی WC-Co با تعداد لایه‌های مختلف و میزان نانوکاربید تنگستن مشخص در تمامی لایه‌ها، توسط روش تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای (SPS) ساخته شدند. به منظور بررسی خواص مکانیکی این نانوسخت‌فلزها آزمون سختی‌سنجی از تمامی لایه‌های آن‌ها و نیز آزمون خمش روی این نمونه‌ها انجام گرفت. به علت ابعاد کوچک نمونه‌های ساخته شده، فیکسچر خاصی جهت انجام آزمون خمش طراحی و ساخته شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که استفاده از ذرات نانوکاربید تنگستن، تا یک میزان مشخص در تمامی لایه‌های این نانوسخت‌فلز گرادانی، باعث افزایش چشمگیر استحکام خمشی در نمونه‌ها می‌شود. استفاده‌ی بیشتر از میزان بهینه‌ی نانوذرات کاربید تنگستن، افت استحکام خمشی را در پی داشت. سختی نمونه‌ها در لایه‌هایی که دارای میزان کبالت کمتر بودند بیشتر از لایه‌هایی بود که دارای کبالت بیشتری بودند که این باعث ایجاد یک گرادان سختی در این نانوسخت‌فلزها شد. همچنین مشخص شد که استفاده از نانوذرات کاربید تنگستن تا یک میزان مشخص در لایه‌های مختلف این سخت‌فلز منجر به افزایش سختی در نمونه‌ها می‌شود.

کلمات کلیدی: خمش، نانوسخت‌فلز گرادانی، نانوکاربید تنگستن، تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای، گرادان سختی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد Ehsan.ghoraishi@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه

مواد گرادیانی شده‌ی هدفمند^۱ یا (FGM)ها، موادی هستند که تغییر تدریجی در ترکیب شیمیایی و ساختار آنها، منجر به تغییرات در خواص مختلفشان می‌گردد [۱]. فرآیندهای اصلی ساخت این گونه مواد را می‌توان به سه دسته‌ی اصلی: فرآیندهای گازی (رسوب فیزیکی^۲ و شیمیایی بخار^۳)، فرآیندهای حالت مذاب (ریخته‌گری گریز از مرکز^۴)، و فرآیندهای حالت جامد مانند تف‌جوشی به روش پلاسما جرقه‌ای و سنتز خودپیش‌رونده (SPS^۵ و SHS^۶) تقسیم‌بندی کرد.

کاربدهای سماتته WC-Co مواد منحصر به فردی هستند که ترکیب فوق العاده‌ای از سختی، استحکام، چقرمگی و مقاومت به سایش را دارا می‌باشند. بنابراین، این مواد به طور گسترده در کاربردهای فراوانی مانند ساختمان سازی، حفاری گاز، نفت و غیره استفاده می‌گردد. کاربردهای سماتته WC-Co گرادیانی با سه روش قابل دستیابی هستند [۱]:

الف) ایجاد گرادیانی از کبالت و سختی در اثر تغییر اندازه ذرات میانگین کاربرد تنگستن در قسمت‌های مختلف از کاربرد سماتته.

ب) ایجاد گرادیانی از کبالت و سختی در اثر تغییر میزان کربن در قسمت‌های مختلف از کاربرد سماتته.

پ) رانش^۷ کبالت به سمت سطح کاربرد در اثر نرخ سرد کردن مناسب پس از تف‌جوشی فاز مایع.

به دلیل اهمیت بالای دسته اول و به روز بودن این موضوع نسبت به سایر موضوعات، در این پژوهش روی این مکانیزم کار شد ولی با طرح این نوآوری که تغییرات اندازه ذرات میانگین کاربرد تنگستن با استفاده همزمان از پودر کاربرد تنگستن نانو و میکرونی و همچنین تغییر درصد وزنی پودر کبالت ایجاد شود. با این کار گرادیانی از ترکیب شیمیایی و سختی در ریزساختار ایجاد می‌شود.

از روش SPS می‌توان به منظور تف‌جوشی نمونه‌ها استفاده کرد. تف‌جوشی به روش پلاسما جرقه‌ای (SPS) یک فرآیند سریع تف‌جوشی است که قابلیت تف‌جوشی انواع پودرهای رسانا و نارسانا را دارا می‌باشد [۲]. در

¹ Functionally graded materials

² Physical vapor deposition

³ Chemical vapor deposition

⁴ Centrifugal casting

⁵ Spark plasma sintering

⁶ Self-propagating high temperature synthesis

⁷ drift

سال‌های اخیر در کشور ژاپن، این روش برای تولید سخت‌فلزهای گرا دیانی و دارای فازهای در مقیاس نانو، مورد توجه قرار گرفته است [۳]. Suna و همکارانش [۴] در زمینه استفاده از ذرات نانو و میکرو در تولید سخت‌فلزها فعالیت نمودند. نتیجه این آزمایشات حاکی از بهبود فوق العاده خواص مکانیکی سخت‌فلزها بود. آن‌ها همچنین از ترکیب گرا دیانی برای ساخت سخت‌فلزها استفاده کردند و تاثیر توزیع، اندازه دانه و پارامترهای تف جوشی بر روی سخت‌فلزهای گرا دیانی را مورد بررسی قرار دادند [۵]. روش SPS با توجه به نرخ گرمایش بالا، وجود اتمسفر کنترل شونده و یکنواختی قطعات ساخته شده به وسیله‌ی این روش، یکی از بهترین و به روزترین روش‌ها برای تف جوشی کامپوزیت‌های WC-Co معرفی شده است [۶، ۷].

مواد و روش تحقیق

برای ساخت کامپوزیت‌های گرا دیانی، لایه‌های مجزایی با ترکیب شیمیایی مختلف در نظر گرفته شد. از پودر کاربید تنگستن و کبالت با اندازه ذره ۵-۳ میکرون و پودر کاربید تنگستن با اندازه ذره ۵۵ نانومتر استفاده گردید. ترکیب شیمیایی لایه‌ها طوری انتخاب شدند که بتوان تغییر میزان کبالت و ایجاد گرا دیان سختی و نیز اثر استفاده از نانو کاربید تنگستن در لایه‌های مختلف این کامپوزیت را روی استحکام خمشی و سختی آن‌ها بررسی کرد. وزن هر کدام از لایه‌های مختلف، یکسان و در نتیجه ضخامت آن‌ها در طول نمونه برابر بود. هر کدام از مخلوط‌های پودری با درصد‌های وزنی مختلف مواد تشکیل دهنده، لایه‌های کامپوزیت گرا دیانی را تشکیل می‌دهند. این لایه‌ها به طور جداگانه با عملیات آسیاکاری گلوله‌ای با نسبت گلوله به پودر ۱۰:۱ و سرعت ۲۵۰ دور بر دقیقه در اتانول مخلوط و آماده سازی شدند. لایه‌ها را به ترتیبی که در شکل ۱ مشخص است درون قالب گرافیتی دستگاه SPS ریخته و بعد از اعمال پرس دستی، لایه‌های بعدی نیز ریخته شدند و در هر مرحله پرس تکرار شد. عملیات SPS برای نمونه های A-D در دمای ۱۲۰۰°C و برای نمونه‌های E-J در دمای ۱۳۰۰°C، فشار ۴۰ مگاپاسکال و زمان نگهداری ۵ دقیقه انجام شد. به منظور بررسی تاثیر احتمالی تعداد لایه های مختلف روی استحکام خمشی، نمونه‌هایی با ۳ و ۶ لایه ساخته شدند. شکل‌های ۱ و ۲ ترتیب کلی لایه های نمونه‌ها و ترکیب‌های شیمیایی مختلف انتخاب شده را نشان می‌دهد. WC_m و WC_n به ترتیب به منظور نشان دادن پودر کاربید تنگستن نانو و میکرونی استفاده شدند.

D ₁ [5Co-85WC _m -10WC _n]	C ₁ [10Co-80WC _m -10WC _n]	B ₁ [5Co-85WC _m -10WC _n]	A ₁ [10Co-80WC _m -10WC _n]
D ₂ [10Co-85WC _m -5WC _n]	C ₂ [10Co-85WC _m -5WC _n]	B ₂ [7Co-85WC _m -8WC _n]	A ₂ [10Co-82WC _m -8WC _n]
D ₃ [15Co-85WC _m -0WC _n]	C ₃ [10Co-90WC _m -0WC _n]	B ₃ [9Co-85WC _m -6WC _n]	A ₃ [10Co-84WC _m -6WC _n]
		B ₄ [11Co-85WC _m -4WC _n]	A ₄ [10Co-86WC _m -4WC _n]
		B ₅ [13Co-85WC _m -2WC _n]	A ₅ [10Co-88WC _m -2WC _n]
		B ₆ [15Co-85WC _m -0WC _n]	A ₆ [10Co-90WC _m -0WC _n]
ت	پ	ب	الف

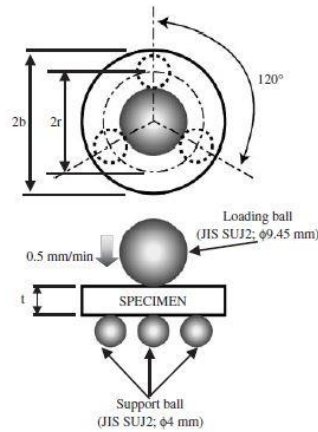
شکل ۱. نمونه‌های الف (A و ب) B (پ) C (ت) D تف جوشی شده در دمای ۱۲۰۰ °C

H ₁ [5Co-83WC _m -12WC _n]	G ₁ [5Co-87WC _m -8WC _n]	F ₁ [5Co-91WC _m -4WC _n]	E ₁ [5Co-95WC _m -0WC _n]
H ₂ [7Co-81WC _m -12WC _n]	G ₂ [7Co-85WC _m -8WC _n]	F ₂ [7Co-89WC _m -4WC _n]	E ₂ [7Co-93WC _m -0WC _n]
H ₃ [9Co-79WC _m -12WC _n]	G ₃ [9Co-83WC _m -8WC _n]	F ₃ [9Co-87WC _m -4WC _n]	E ₃ [9Co-91WC _m -0WC _n]
H ₄ [11Co-77WC _m -12WC _n]	G ₄ [11Co-81WC _m -8WC _n]	F ₄ [11Co-85WC _m -4WC _n]	E ₄ [11Co-89WC _m -0WC _n]
H ₅ [13Co-75WC _m -12WC _n]	G ₅ [13Co-79WC _m -8WC _n]	F ₅ [13Co-83WC _m -4WC _n]	E ₅ [13Co-87WC _m -0WC _n]
H ₆ [15Co-73WC _m -12WC _n]	G ₆ [15Co-77WC _m -8WC _n]	F ₆ [15Co-81WC _m -4WC _n]	E ₆ [15Co-85WC _m -0WC _n]
ت	پ	ب	الف
	J ₁ [5Co-87WC _m -8WC _n]	I ₁ [5Co-95WC _m -0WC _n]	
	J ₂ [10Co-82WC _m -8WC _n]	I ₂ [10Co-90WC _m -0WC _n]	
	J ₃ [15Co-77WC _m -8WC _n]	I ₃ [15Co-85WC _m -0WC _n]	
	ج	ث	

شکل ۲. نمونه‌های الف (E و ب) F (پ) G (ت) H (ث) I (ج) J تفجوشی شده در دمای ۱۳۵۰ °C

به منظور بررسی تأثیر تعداد لایه‌ها، کامپوزیت گرادایانی C مشابه با نمونه A و D مشابه با نمونه B تولید شد که در آن تعداد لایه‌ها از ۶ به ۳ کاهش پیدا کرده است. در واقع تغییر تعداد لایه‌ها طوری صورت گرفت که میزان تغییرات ترکیب شیمیایی نمونه‌های ۶ لایه نسبت به نمونه‌های ۳ لایه آهسته تر بود. به منظور بررسی سختی هر یک از لایه‌ها، مقطع عرضی نمونه‌ها را در دستگاه میکروسختی سنج مدل BUEHLER-1600-6125 با میزان بار ۱۰۰۰ g به مدت ۱۵ ثانیه قرار داده و سختی هر یک از لایه‌ها اندازه‌گیری گردید. نمودارهای مربوطه به منظور مقایسه سختی نمونه‌ها، بعد از ۳ بار تکرارپذیری داده‌ها ترسیم شد.

برای تعیین استحکام مواد گرادایانی، آزمون خمش یکی از رایج‌ترین آزمون‌های مکانیکی است. استحکام خمشی با استفاده از آزمون خمش دومحوری در دمای اتاق طبق استاندارد ASTM-F394-78 انجام شد [۷]. این استاندارد برای تعیین استحکام کامپوزیت‌های سرامیکی طراحی شده است. بدین منظور استوانه‌هایی به قطر ۱۵ میلی‌متر آماده شد و در مرکز فیکسچر قرار گرفت. شماتیک فیکسچر این آزمون در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است، این فیکسچر دارای دو فک می باشد، فک بالایی استوانه ای فولادی است که در مرکز آن یک گلوله فولادی سخت کاری شده به قطر ۹/۴۵ میلی متر و روی فک پایینی سه گلوله به زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به هم و قطر ۴ میلی متر قرار داده شده است. نمونه‌ها پس از آماده سازی سطح و پولیش بین فک‌ها قرار گرفته و آزمون آغاز می شد. سرعت حرکت فک‌ها ۰/۵ میلی متر بر دقیقه بود.



شکل ۳. شماتیک فیکسچر و نحوه قرارگیری نمونه ها در آزمون خمش دوماحوره [۸].

استحکام خمشی به وسیله روابط ۱ تا ۳ به دست آمد [۸]. این آزمون دارای ۳ بار تکرارپذیری بود که در نهایت استحکام خمشی میانگین گزارش شده است.

$$k = \frac{9}{16} \left[(1-\nu_1^2) + (1-\nu_2^2) \frac{E_1}{E_2} \right] \quad (1)$$

$$a = \sqrt{\frac{4kPR}{3E_1}} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{3P}{4\pi t^2} \left[2(1+\nu_1) \ln\left(\frac{r}{a}\right) + (1+\nu_1) + (1-\nu_1) \frac{2r^2 - a^2}{2b^2} \right] \quad (3)$$

در رابطه ۱ دو پارامتر E_1 و E_2 وجود دارد که به ترتیب مدول الاستیک متعلق به نمونه و گلوله های فولادی می باشد. E_2 ثابت است، اما E_1 به دلیل تغییر ترکیب شیمیایی و مقادیر درصد وزنی کبالت و کاربید تنگستن در لایه های مختلف، متفاوت است و موجب می گردد که مدول الاستیک در FGM ها نسبت به نمونه بالک تغییر پیدا کند. به همین خاطر برای FGM های ۳ و ۶ لایه از طریق رابطه ی ۴ ابتدا E هر لایه محاسبه می گردد و در نهایت از رابطه ی ۵ و ۶، مدول الاستیک کل برای نمونه ۳ و ۶ لایه محاسبه می گردد. در این روابط برای محاسبه ی مدول الاستیک هر لایه لازم است تا درصد حجمی هر جزء در مدول الاستیک همان جزء، ضرب شود لذا درصدهای وزنی استفاده شده به درصد حجمی تبدیل شد و در روابط ۴ تا ۶ استفاده شد.

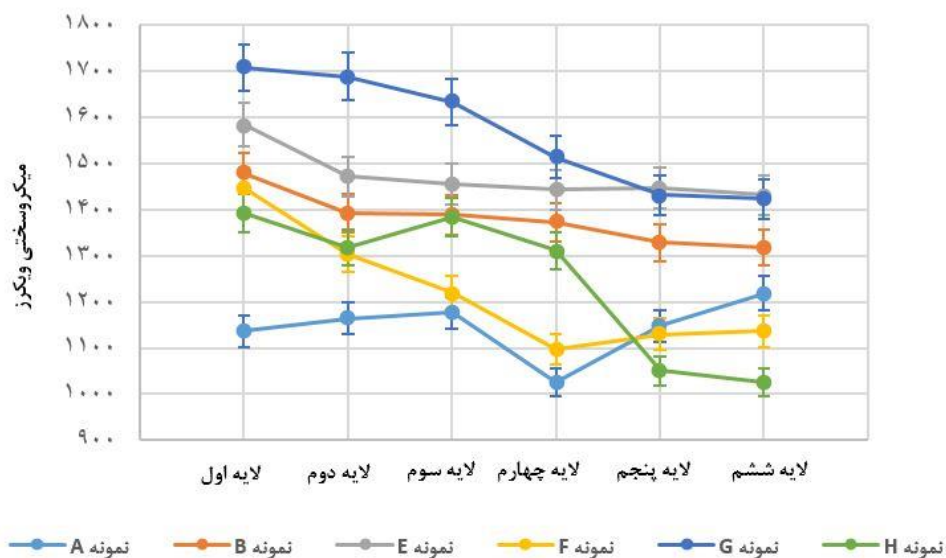
$$E_{layer} = E_{Co} \times X_{Co} + E_{WC} \times X_{WC} \quad (4)$$

$$E_{3layers} = \frac{1}{3}(E_1 + E_2 + E_3) \quad (5)$$

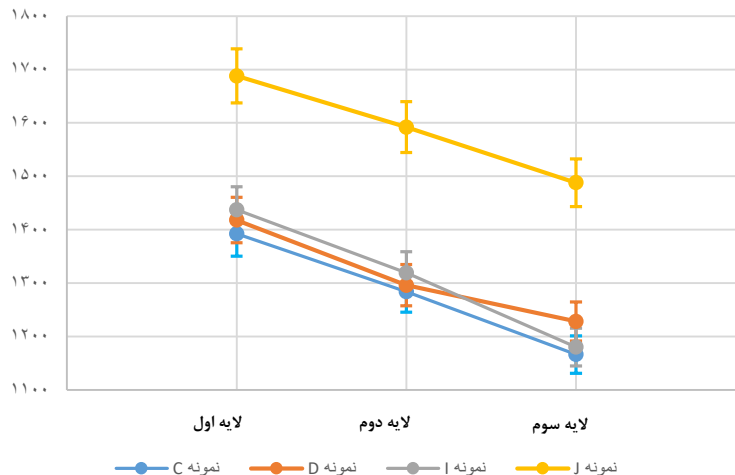
$$E_{6layers} = \frac{1}{6}(E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6) \quad (6)$$

نتایج و بحث

شکل‌های ۴ و ۵، نمودارهای تغییرات میکروسختی را برای لایه‌های مختلف در نمونه‌های A-J نشان می‌دهند. از آن جایی که کبالت در کامپوزیت WC-Co نقش فاز فلزی نرم و هم‌گیر ذرات سخت WC را دارد، در نمونه‌هایی که دارای گرادیان کبالت (تغییرات آهسته میزان کبالت بین ۱۵-۵ درصد وزنی) می‌باشند، با افزایش میزان کبالت در لایه‌های مختلف، مقدار سختی کاهش می‌یابد. از طرفی در نمونه‌هایی که دارای درصد وزنی کبالت ثابت در تمام لایه‌ها هستند (A و C) تفاوت چندانی در سختی لایه‌های مختلف مشاهده نمی‌گردد.



شکل ۴. نمودار میکروسختی لایه‌های مختلف در نمونه‌های ۶ لایه.



شکل ۵. نمودار میکروسختی لایه های مختلف در نمونه های ۳ لایه.

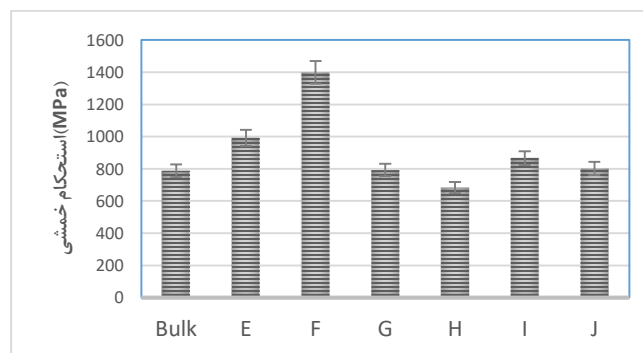
در نمودار شکل های ۴ و ۵ مشاهده می گردد که سختی نمونه های ۶ لایه نسبت به نمونه های ۳ لایه تفاوت چندانی نداشته و در یک محدوده از سختی می باشند. عامل مهمی که روی نمودارها تاثیر می گذارد، دمای تف جوشی است. با مقایسه نمونه های تف جوشی شده در دمای 1200°C و 1350°C به وضوح مشاهده می شود که با افزایش دمای تف جوشی، سختی کل نمونه ها افزایش چشمگیری داشته است، به طوری که نمونه های A-D که در دمای 1200°C تف جوشی شده اند، نسبت به نمونه های E-J که در دمای 1350°C تف جوشی شده اند، دارای مقادیر سختی پایین تری می باشند. مطلب مهمی که باید به آن توجه کرد، جلوگیری از حرکت لغزشی^۱ کبالت از لایه های دارای میزان کبالت بیشتر به سمت لایه های دارای کبالت کمتر است که در صورت افزایش از حد دمای SPS و ذوب شدن کامل کبالت می تواند رخ دهد و عملاً تغییرات گرادیانی طراحی شده برای کبالت را از بین ببرد [۹]. با اندازه گیری سختی تمامی لایه ها مشخص شد که این اتفاق رخ نداده و سختی لایه ها با افزایش میزان کبالت به صورت تدریجی کاهش پیدا کرده است و گرادیان سختی مورد نظر ایجاد شده است که این به معنی بهینه و مناسب بودن دمای SPS بود. نمونه ی G که دارای ۸ درصد وزنی نانوکاربید تنگستن در تمامی لایه ها می باشد دارای بالاترین میزان سختی در بین نمونه های ساخته شده بود. سختی لایه ی کم کبالت این نمونه

¹) Drift

۱۷۰۷HV می باشد که نزدیک به بالاترین سختی گزارش شده در کامپوزیت های WC-Co معمول ساخته شده به روش SPS تا به امروز است (HV ۱۹۲۲) [۱].

پس از محاسبات انجام شده و به دست آوردن استحکام خمشی نمونه های E-J، مشخص شد که نمونه F که دارای گرادیان کبالت و هم چنین ۴ درصد وزنی نانوکاربید تنگستن در هر ۶ لایه خود است، دارای بیشترین استحکام خمشی به میزان ۱۳۹۸/۷۸ مگاپاسکال می باشد. به منظور مقایسه ی نمونه های گرادینی با نمونه های غیرگرادینی، یک کامپوزیت WC-Co حاوی ۱۰ درصد وزنی کبالت که در شرایط مشابه تفسجوشی شده نیز تحت آزمون خمش قرار داده شد. شکل ۶، نمودار میله ای استحکام خمشی میانگین را برای نمونه های بهینه (سری دوم) که در دمای °C ۱۳۵۰ تفسجوشی شده اند، نشان می دهد. استحکام خمشی نمونه ی گرادینی شده نسبت به نمونه ی بالک حدود ۲۰۰ مگاپاسکال افزایش داشته است. استحکام خمشی نمونه E که فاقد نانوکاربید تنگستن در لایه های مختلف می باشد، ۹۹۱ مگاپاسکال بوده که این میزان با افزودن ۴ درصد وزنی کاربید تنگستن نانو به میزان ۱۳۹۸/۷۸ مگاپاسکال رسیده است. دلیل این افزایش استحکام را می توان در دو مسئله ی گرادینی کردن ترکیب و نیز استفاده از نانوکاربید تنگستن در تمامی لایه ها جستجو کرد.

ساختار گرادینی و افزایش تدریجی میزان فاز نرم فلزی (کبالت)، باعث می شود که اثرات مضرى مانند تجاوز از ضخامت موثر کبالت که می تواند در اثر حضور بیش از حد آن در کامپوزیت رخ دهد از بین رفته و در کاربردهایی که نیاز به کم تر شدن سختی کامپوزیت WC-Co باشد و این کاهش سختی را می بایست با افزایش میزان کبالت بدست آورد، برطرف کرده و منجر به تولید کامپوزیتی با استحکام خمشی بالاتر و اتصال بهتر ذرات کاربید تنگستن به هم و به زمینه شود. هم چنین نانوکاربید تنگستن استفاده شده در این کامپوزیت، در زمینه کبالت پخش شده و با افزایش استحکام آن، به بهبود اتصال ذرات کاربید تنگستن میکرونی به هم و به زمینه کمک می کند.



شکل ۶. نمودار میله ای مربوط به استحکام خمشی نمونه بالک و نمونه های E-J.

با افزودن بیشتر نانوکاربید تنگستن به میزان ۸ و ۱۲ درصد وزنی، استحکام خمشی افت پیدا می کند. به نظر می رسد دلیل این امر می تواند افزایش سختی نمونه ها با افزودن بیش از حد نانوکاربید تنگستن باشد. به این

صورت که با ذوب سطحی بیشتر در اثر جرقه SPS و چسبندگی بیشتر ذرات پودر نانو، این دسته از نمونه‌ها سختی بیشتری از خود نشان داده و در نتیجه میزان انعطاف پذیری آن‌ها کاهش یافته و در نهایت با قرار گرفتن در دستگاه تست خمش، استحکام خمشی کمتری را از خود نشان می‌دهند. انباشتگی بیش از حد این نانوذرات در زمینه ی کبالت نیز می‌تواند به افت خواص مکانیکی منجر شود. از طرفی با مقایسه نمونه های ۶ لایه و ۳ لایه مشخص می‌گردد که استحکام خمشی به وسیله افزایش تعداد لایه ها بهبود می یابد. مقایسه دو نمونه سه لایه ۱ و ۱ با نمونه های مشابه ۶ لایه (F و E) تاثیر بسیار زیاد افزایش تعداد لایه‌ها را روی استحکام خمشی نشان می دهد.

نتیجه گیری

- ۱- به دلیل نقش کبالت در کامپوزیت‌های WC-Co، که ایجاد اتصال بین ذرات کاربید تنگستن و فراهم کردن شرایط تفجوشی است و نیز بسیار نرم تر بودن آن نسبت به کاربید تنگستن، افزایش و کاهش آن در کامپوزیت WC-Co باعث کاهش و افزایش سختی در نمونه‌ها گردید.
- ۲- با انتخاب دمای مناسب SPS برای تفجوشی بهتر و جلوگیری از رانش کبالت بین ذرات کاربیدی و تغییر میزان کبالت در لایه‌های مختلف کامپوزیت گرادینانی WC-Co، می‌توان گرادینان سختی مناسب در FGM های ساخته شده به روش SPS ایجاد کرد.
- ۳- نمونه‌های دارای ساختار گرادینانی به دلیل تغییرات تدریجی میزان کبالت و نیز حضور نانوکاربید تنگستن، استحکام خمشی به مراتب بهتری از نمونه های بالک و غیرگرادینانی از خود نشان می‌دهند. با افزایش تعداد لایه ها از ۳ به ۶، استحکام خمشی این کامپوزیت‌ها افزایش یافت.
- ۴- نانوذرات کاربید تنگستن، با توزیع در فاز کبالت به افزایش استحکام فاز نرم و بهبود اتصال بین ذرات کاربید تنگستن کمک می‌کند. میزان بهینه‌ی استفاده از این نانوذرات حدود ۸ درصد وزنی بود که با تجاوز کردن از این میزان، به دلیل انباشتگی بیش از حد آن‌ها در فاز کبالت، استحکام خمشی افت پیدا کرد.
- ۵- با افزایش دمای تفجوشی از ۱۲۰۰ °C به ۱۳۵۰ °C میزان سختی تا HV ۱۷۰۷ افزایش پیدا کرد که این میزان سختی بسیار نزدیک با بیشترین سختی گزارش شده در این کامپوزیت‌ها (HV ۱۹۲۵) بود.

مراجع

1- I. Konyashin and W. Lengauer, "Sintering Mechanisms of Functionally Graded Cemented Carbides," Mater. Sci. Forum, vol. 835, pp. 116-198, 2016.

۲- ناصر احسانی و علیرضا عبداللهی، "زینترینگ قطعات متالورژی پودر به کمک قوس پلاسما"، مجله فنی و مهندسی ساخت و تولید، ۴۶، ۳۷-۳۵، ۱۳۹۲.

3- M.Tokita, "Development of square-shaped large-size WC/Co/Ni system FGM fabricated by spark plasma sintering (SPS) method and its industrial applications". Materials Science Forum Vols. 492-493 (2005) pp 711-718.

4- Jialin Sun, Jun Zhao, Mengjie Chen, Xiuying Ni, Zuoli Li, Feng Gong, "Determination of microstructure and mechanical properties of VC/Cr₃C₂ reinforced functionally graded WC-TiC-Al₂O₃ micro-nano composite tool materials via two-step sintering", Journal of Alloys and Compounds 709 (2017) 197e205

5- Jialin Sun, Jun Zhao, Zuoli Li, Xiuying Ni, Yonghui Zhou, Anhai Li, "Effects of initial particle size distribution and sintering parameters on microstructure and mechanical properties of functionally graded WC-TiC-VC-Cr₃C₂-Co hard alloys", Ceramics International 43 (2017) 2686-2696

6- W. Chen, H. Lin, P. K. Nayak, M. Chang, and J. Huang, "Sintering behavior and mechanical properties of WC - Al₂O₃ composites prepared by spark plasma sintering (SPS)." Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials Rmhm, vol. 48, pp. 414-417, 2015.

7- ASTM F394-78 (Reapproved 1996), "Standard test method for biaxial flexure strength (modulus of rupture) of ceramic substrates," vol. 71, no. Reapproved 1996, pp. 1-5, 1978.

8- K. Yoshida, H. Mishina, S. Sasaki, M. Morita, and K. Mabuchi, "Development of 3Y-PSZ/AISI 316L composites for joint prostheses," Nippon Kinzoku Gakkaishi/Journal Japan Inst. Met., vol. 69, no. 8, pp. 793-800, 2005.

9- Md. Raihanuzzaman Rumman, Zonghan Xie, Soon-Jik Hongb, Reza Ghomashchi, "Effect of spark plasma sintering pressure on mechanical properties of WC-7.5 wt% Nano Co". Materials and Design 68 (2015) 221-227 Contents.

Investigation of mechanical properties of gradient WC-Co nano hardmetal fabricated by spark plasma sintering method

Paper Presenter: Seyed Ehsan Ghoreyshi¹

Seyed Ehsan Ghoreyshi², Mohammad Hassan Farshidi³, Seyed Abdolkarim Sajjadi⁴,

1- Ferdowsi University of Mashhad

2- Ferdowsi University of Mashhad

3- Ferdowsi University of Mashhad

Ehsan.ghoraishi@gmail.com

Abstract

Gradient hardmetals are made for special applications and in many cases have a unique combination of several properties that can not be found in conventional composites. In this research, gradient WC-Co nano hardmetals with different layers and tungsten nanocarbide in all layers were fabricated by Spark plasma sintering method (SPS). In order to investigate the mechanical properties of this hardmetals, micro hardness test were applied on all of the layers and a bending test were performed on these specimens. Due to the small dimensions of the samples, a special fixture was designed and made for bending test. The results of the study showed that the utilization of tungsten nanocarbide particles, up to a certain degree in all layers of this nano composite significantly increases the bending strength of the samples. The use of more than optimum tungsten carbide nanoparticles resulted in a bending strength loss. The hardness of the samples in layers with lower cobalt content was higher than those containing more cobalt, which created a hard gradient in this nano composite. It was also found that the use of tungsten nano carbide particles to a certain degree in different layers of this hardmetals resulted in increasing hardness of the samples.

Keywords: Bending strength, Gradient nano hardmetal, SPS, Hardness gradient.

¹ - Master student, Materials Science and Engineering

² - Master student, Materials Science and Engineering

³ - Assistant Professor of Materials Science and Engineering

⁴ - Professor of Materials Science and Engineering