

تغییرات خواص مکانیکی و مغناطیسی کاربیدهای سماتنه با افزایش زمان سینتر

فرهاد ادیب پور^{۱*}، حسن کربلایی اکبر^۲ و سیدعلی طیبی فرد^۳

^۱ کارشناسی ارشد، پژوهشگاه مواد و انرژی

شرکت شتاب کار

^۳ استادیار، پژوهشگاه مواد و انرژی

تاریخ ثبت اولیه: ۹۲/۰۵/۰۷، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۹۲/۹/۴، تاریخ پذیرش قطعی: ۹۲/۱۰/۲۴

چکیده تولید ابزارهای برشی امروزی، بدون استفاده از کاربیدهای سماتنه به عنوان ماده اولیه ممکن و میسر نمی‌شود. نیاز صنایع به ابزارهای برشی جدید با توانایی و کیفیت بالاتر جهت حصول نتایج اقتصادی بهتر، منجر به بهره‌گیری از فرآیندها و روشهای پیشرفته و مدرن در تولید و یا بهبود آنها شده است. در این پژوهش تلاش گردید با افزایش زمان فرآیند سینتر و براساس روش سینتر مجدد، خواص گوناگونی را جهت حصول دامنه های کاربردی متنوع بدست آورد. جهت بررسی موضوع، نمونه‌ای از استاندارد K با ترکیب WC(92wt%)، TaC(2wt%) و Co(6wt%) که برای ماشینکاری چدن‌ها بکار برده می‌شود و همچنین نمونه ای دیگر از خانواده استاندارد P با ترکیب شیمیایی WC(80wt%)، TaC(5wt%)، TiC(5wt%) و Co(10wt%) که برای ماشینکاری فولادها مناسب می‌باشد، انتخاب شدند. ساختار نمونه‌ها و مواد اولیه آنها توسط میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه ها در زمانهای ۱ تا ۱۰ ساعت و با یک شیب حرارتی یکنواخت تا درجه حرارت $1490 \pm 5^\circ\text{C}$ درون کوره و تحت خلاء نسبی 10^{-2} torr سینتر شدند. در ادامه نمونه‌های سینتر شده جهت بررسی‌های فازی تحت آنالیز XRD قرار گرفتند. نتایج این آنالیز به کمک نرم افزار نشان داد که نمونه تهیه شده شامل فازهای عمده مطلوب می‌باشد. رفتار خواص مکانیکی با سنجش تغییرات سختی از 1698HV_{30} تا 1674HV_{30} برای نمونه‌های نوع K و از 1389HV_{30} تا 1347HV_{30} برای نمونه‌های نوع P کاهش یافت که علت آن کاهش عیوب کریستالی و رشد دانه‌ها بود. استحکام گسیختگی عرضی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت که با افزایش زمان سینتر تا ۴ ساعت به علت از بین رفتن مراکز جوانه زنی ترک این پارامتر برای نمونه نوع K به 2991MPa و برای نمونه نوع P به 2710MPa افزایش داشت و پس از آن با افزایش زمان سینتر تا ۱۰ ساعت، به علت غالب شدن پدیده رشد دانه این مقادیر برای نمونه‌های نوع K و P بترتیب به 2610MPa و 2250MPa کاهش یافتند. این رفتار با سنجش اندازه‌گیری اشباع مغناطیسی و نیروی پسماندزاد مغناطیسی بیانگر تغییراتی در ریزساختار اولیه و هم جهت با تغییرات تافنس می‌باشد که این امر منجر به بهبود خواص براده‌برداری ابزار برای قطعات ریختگی می‌گردد. بررسی دانسیته نمونه‌ها نیز تغییرات محسوسی را نشان نمی‌داد.

کلمات کلیدی: کاربیدهای سماتنه، سینتر، استحکام گسیختگی عرضی، اشباع مغناطیسی، نیروی پسماندزاد مغناطیسی.

Effect of Sintering Time on Mechanical and Magnetic Properties of Cemented Carbides

F. Adibpur^{1*}, H. Karbalaei Akbar² and S.A. Tayebifard¹

¹ Semi-Conductors department, Materials and Energy Research Center, Karaj, IRAN

² Shetabkar unit4 Co., Tehran, IRAN

Abstract Producing of today cutting tools without cemented carbides as a raw material is impossible. Requirements of industries to new cutting tools with high quality and performance in order to achieving better economical results, was caused to use of advanced processes in producing and improving of these tools. In this research, it is endeavored by changing sintering time, new properties and broadened fields of cemented carbide tools are obtained. For this purpose, samples of "K" type standard with WC(92%Wt), TaC(2%Wt) and Co(6%Wt) composition and "P" type standard with WC(80%Wt), TaC(5%Wt), TiC(5%Wt) and Co(10%Wt) composition which are suitable for cast iron and steel machining respectively, were processed. Microstructure of raw materials and products were investigated by light and scanning electron microscopy respectively. Samples were sintered at $1490 \pm 5^\circ\text{C}$ for 1 to 10 hours in a 10^{-2} torr vacuumed electric furnace. Analyzing of XRD patterns by software revealed desirable phases. Mechanical properties were analyzed by measuring of hardness changing from 1698HV_{30} to 1674HV_{30} for "K" type and 1389HV_{30} to 1347HV_{30} for "P" type samples. Transverse rupture strength of samples was measured after 4hr sintering and an increasing revealed up to 2991MPa for "K" type and 2710MPa for "P" type samples because of elimination of crack formation centers and after that decreased to 2610MPa and 2250MPa because of predominant of grain growth phenomenon, respectively. Also measurements of magnetic saturation and coercive force properties were done on sintered samples, which revealed reduction in both of these properties by increasing sintering time. No changing in density was observed.

Keywords: Cemented carbides, Sintering, Transverse rupture strength, Magnetic saturation, Coercive force.

*عهده‌دار مکاتبات

نشانی: پژوهشگاه مواد و انرژی - پژوهشکده نانومواد/نانوفناوری

تلفن: ۰۹۱۲۳۸۷۸۴۶۶، دورنگار: -، پیام‌نگار: adibpur@yahoo.com

۱- مقدمه

مغناطیسی مورد بررسی قرار گرفته است.

طبق تعریف و بطور قراردادی، مواد سخت جامداتی با سختی ۸-۱۰ در مقیاس موس هستند. معمولاً مواد سخت متعارف به صورت ترکیباتی با پیوندهای فلزی (نظیر TiN و WC)، یونی (Al_2O_3)، یا کووالانسی (نظیر الماس، Si_3N_4) تقسیم بندی می‌شوند. اغلب عناصر تشکیل کاربیدها و نیتريد‌های گوناگون با ساختار فیزیکی-شیمیایی و خواص کاربردی متفاوت می‌دهند. از میان این عناصر فقط آنهایی که بصورت بین نشین و کووالانت ترکیبات مذکور را ایجاد می‌نمایند دارای مشخصه‌های دیرگدازی و سختی بالا می‌باشند. این چنین موادی شامل کاربیدها و نیتريد‌های نه عنصر از گروه‌های چهار، پنج و شش جدول تناوبی می‌شوند که در دوره‌های چهارم، پنجم و ششم قرار گرفته‌اند. همچنین کاربیدها و نیتريد‌های بور و سیلیسیم و نیتريد آلومینیوم نیز دارای چنین خاصیتی می‌باشند [۶]. از این بابت است که این کاربیدها و نیتريد‌ها در ساخت ابزارهای برشی استفاده فراوان دارند.

کاربیدهای مورد بحث دارای سختی بالا، مدول الاستیک زیاد، نقطه ذوب بالا، خصوصیات فلزی خوب (هدایت حرارتی و هدایت الکتریکی خوب) و مقاومت زیاد به واکنش شیمیایی می‌باشند و تمایل زیادی به آلیاژسازی با ترکیباتی از آهن را دارند. برخی از مشخصه های فیزیکی و مکانیکی چند کاربید پرمصرف در این صنعت در جدول (۱) آورده شده است.

کاربید تنگستن به دلیل برخی از ویژگی‌ها، بخش قابل توجهی از ذرات سخت را در ساخت کاربیدهای سماتنه به عنوان ابزار براده برداری به خود اختصاص می‌دهد. ساختمان کریستالی کاربید تنگستن هگزاگونال می‌باشد. کاربیدهای دیگر بطور قابل ملاحظه‌ای در کاربید تنگستن قابلیت حل شدن ندارند ولی ترکیبهای کاربید تیتانیم، کاربید تتال و کاربید نیوبیم به نسبت قابل توجهی کاربید تنگستن را درون خود حل می‌نمایند [۷]. ترکیب شیمیایی، اندازه و شکل دانه‌های فازهای گوناگون و فرآیند عملیاتی آنها، خواص یک کاربید سماتنه را کنترل می‌کنند. مشخصات و خصوصیات کلی به اندازه ذرات

کاربیدهای سماتنه محدوده‌ای از آلیاژهای خیلی سخت، دیرگداز و مقاوم به سایش را تشکیل می‌دهند که به دلیل خواص منحصر به فرد، دارای کاربرد بسیار وسیع و گسترده ای در ابزارهای برشی هستند. این ترکیبات اصولاً از تجمع ذرات کاربیدهای فلزی دیرگداز با سختی بالا در یک زمینه اتصال‌دهنده فلزی تشکیل می‌شوند. حصول خواص مهمی مانند حفظ استحکام و سختی در درجه حرارت‌های بالای ماشینکاری، تافنس مناسب و مقاومت به سایش زیاد از عوامل خواسته شده و مورد نیاز یک ابزار برشی مطلوب می‌باشند.

یکی از معمولی‌ترین و پرمصرف‌ترین ابزارها، کاربیدهای سماتنه بر پایه کاربید تنگستن می‌باشد که به روش متالورژی پودر بدست می‌آید. این ترکیب به علت سختی بالا دارای مقاومت به سایش خوبی بوده، ضمن آن که ضریب انبساط حرارتی پایین آن قابل توجه می‌باشد. خاصیت ترشوندگی خوب این کاربید توسط کبالت سبب شده تا محصولی با چقرمگی بهبود یافته به دست آید. به علت وجود این خاصیت عالی در کبالت نسبت به سایر فلزات، چسبندگی و خواص مکانیکی خوبی وجود خواهد داشت [۳-۱]. فلز کبالت گران، کمیاب و دارای منابع محدود می‌باشد، ولی خواصی که این عنصر در حین عملیات تولید کاربید سماتنه به عنوان فاز مایع ارایه می‌نماید، باعث محدودیت در جایگزینی آن شده است. در سالهای اخیر تحقیقات گسترده ای به منظور بهبود خواص مکانیکی و مغناطیسی با استفاده از مواد و ترکیبات جدید و یا انجام تغییر در پارامترهای تولید صورت گرفته است تا اینکه افزایش طول عمر باعث حصول صرفه اقتصادی در فرآیندهای ماشینکاری گردند [۴،۵].

ریزش و چسبندگی براده‌ها به ابزار و یا حتی قطعه کار در اثر ایجاد خاصیت مغناطیسی بین براده و ابزار از آن جهت اهمیت دارد که منطقه براده برداری ابزار همواره تمیز و عاری از مانع بماند. این امر باعث عمر طولانی تر ابزار شده و همچنین کیفیت براده برداری را در حد مطلوب نگه خواهد داشت. براین اساس، در این تحقیق اثر زمان سیتتر بر اندازه دانه، سختی، چقرمگی، اشباع مغناطیسی و نیروی پسماندزدای

جدول ۲. مشخصات مواد اولیه به کار گرفته شده در آزمایش

نام	ترکیب شیمیایی	شرکت تولید کننده	کشور	درصد خلوص	اندازه ذره (μm)	تصویر مرفولوژی
کاربید تنگستن	WC	Zhuzhou	چین	۹۹	۱	شکل ۱
کاربید تتالیم-نیوبیم	TaC-NbC (90/10)	Zigong	چین	۸۹/۹	۱/۵	شکل ۲
کبالت	Co	Unicore	بلژیک	۹۹/۹	۱/۵	شکل ۳
کاربید تنگستن-تیتانیوم	WC-TiC (50/50)	Zigong	چین	۹۹/۲	۲	شکل ۴



شکل ۱. الف) پودر کاربید تنگستن با اندازه ذره ۱ میکرون، ب) پودر کاربید تنال ۹۰ درصد با اندازه ذره ۱/۵ میکرون، ج) پودر کبالت با اندازه ذره ۱/۵ میکرون، د) پودر کاربید تنگستن-تیتانیوم با اندازه ذره ۲ میکرون

اولیه، انرژی و زمان عملیات آسیاب و شرایط فرآیند سیتتر مانند درجه حرارت، زمان و اتمسفر محیط وابسته هستند [۸].

کبالت با نسبت ۵ تا ۲۰ درصد وزنی با مجموعه‌ای از کاربیدهای اشاره شده تشکیل دهنده این خانواده از سرمته‌ها می‌باشد. فلز مذکور دارای ویژگی‌هایی از قبیل قابلیت ترکنندگی کاربید توسط فاز مذاب فلزی بوجود آمده، عدم تشکیل کاربید، پایین بودن حلالیت کاربید در فاز مذاب فلزی، مقاومت بالای اکسیداسیون فلزی و انطباق ضرایب انبساط حرارتی فلز و کاربید می‌باشد [۹، ۱۰]. محصول به دست آمده دارای خواص مکانیکی خوب، هدایت حرارتی بالا، نقطه ذوب بالا، نداشتن استحاله فازی در شرایط کاری تعریف شده، عدم واکنش شیمیایی، مقاومت در برابر اکسیداسیون و تغییر خواص بر اساس نیاز می‌باشند [۱۱].

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و مکانیکی چند کاربید پر مصرف [۷]

خواص فیزیکی و مکانیکی	WC	TiC	TaC	NbC
وزن مولکولی	۱۹۵/۸۷	۵۹/۹۱	۱۹۲/۹۶	۱۰۴/۹۲
ساختار کریستالی	HCP	FCC	FCC	FCC
دانسیته (gr/cm^3)	۱۵/۷	۴/۹۳	۱۴/۴۸	۷/۷۸
سختی HV0.05	۱۳۰۰-۲۰۰۰	۳۰۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰
مدول الاستیک (N/mm^2)	۶۹۶۰۰۰	۴۵۱۰۰۰	۲۸۵۰۰۰	۳۳۸۰۰۰
نقطه ذوب ($^{\circ}\text{C}$)	۲۷۷۵	۳۰۷۰	۳۹۸۵	۳۶۱۵
ضریب انبساط حرارتی ($1 \times 10^{-6}/\text{K}$)	۵/۲-۷/۳	۷/۷۴	۶/۲۹	۶/۶۵
هدایت حرارتی ($\text{J}/\text{cm.s.K}$)	۱/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۱۴
مقاومت الکتریکی ($\mu\Omega.\text{cm}$)	۱۹	۶۸	۲۵	۳۵

هدف از انجام تحقیق حاضر گسترش دامنه کاربرد ابزارهای نوع K و P برای براده برداری از چدن و فولاد با محدوده سختی وسیع‌تر بود.

۲- نحوه آزمایش

فرآیند بکار گرفته شده در تهیه این ابزارها متالورژی پودر می‌باشد. مواد اولیه به شکل پودر و مطابق با جدول (۲) و مرفولوژی نشان داده شده در شکل (۱) از شرکت‌های معتبر در صنعت تهیه شده‌اند.

0.1mg استفاده گردید. میزان اشباع مغناطیسی و نیروی پسماندزدای مغناطیسی به ترتیب مطابق با استانداردهای ASTM 342 و ISO3326 اندازه گیری شد. دستگاه‌های مورد استفاده شامل SETARAM و FORSTER بودند. آزمون مخرب استحکام گسیختگی عرضی (TRS) مطابق با استاندارد ISO 3327 و با دستگاه PHILIPS انجام گرفت. به کمک دستگاه سختی سنج، میزان سختی نمونه‌ها در مقیاس HV30 مطابق با استاندارد ISO 3878 توسط دستگاه WOLPERT اندازه‌گیری گردید. همچنین نمونه‌ها مورد تجزیه و تحلیل متالوگرافی قرار گرفتند تا ساختار میکروسکوپی آنها و همچنین وضعیت تخلخل بر اساس استاندارد ISO 4505 مورد بررسی و مقایسه قرار گیرند. این کار به کمک دستگاه میکروسکوپ نوری مدل ZEISS انجام پذیرفت. آزمون دیگری که بر روی نمونه مربوط به زمان ۱۰ ساعت انجام گردید، آزمون پراش اشعه ایکس بود که بوسیله دستگاه تفرق اشعه ایکس PHILIPS مدل PW3710 با ولتاژ 40kV و جریان 30mA مجهز به تیوب آند کبالتی ($\lambda=1.789010^{\circ}A$)، Step Size=0.02، (Time/Step)=0.5S و محدوده زاویه تابش 5-120 درجه انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

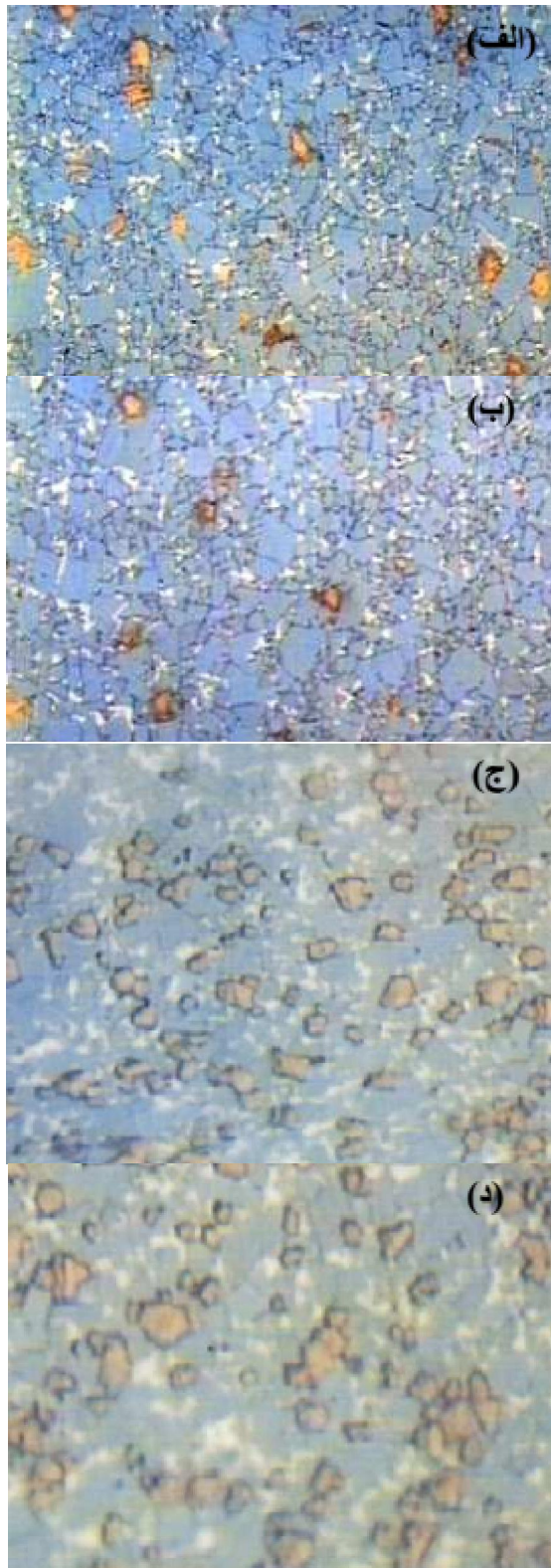
نمونه‌های مربوط به ساعت دهم عملیات سینترینگ برای انجام آنالیز فازی پراش اشعه ایکس (XRD) انتخاب شدند. این انتخاب بدان جهت انجام پذیرفت تا از عدم بوجود آمدن فازهای نامطلوب ناشی از ترکیبات جدید و همچنین از تحت کنترل بودن اتمسفر کوره اطمینان حاصل شود. همانطور که از شکل (۲) می‌توان ملاحظه نمود، در نمودار تفرق اشعه ایکس فازهای ردیابی شده WC، TaC و TiC می‌باشند و پیک مربوط به کبالت مشاهده نمی‌شود که دلیل آنرا می‌توان به شدت جذب پایین این عنصر نسبت داد [۱۲]. در جدول (۳) ضریب جذبی ترکیبات مورد نظر جهت مقایسه ارائه شده است. همچنین حداکثر شدت پیک مربوط به ترکیب WC است که فاز اصلی و فاز فرعی را ترکیب TaC تشکیل می‌دهد.

علاوه براین در نمودارهای شکل (۲) ناخالصی‌ها و ترکیبات نامطلوب نظیر فاز η در خانواده کاربیدهای سماتنه نیز

برای حصول نتیجه گیری بهتر تلاش شده است تا سه پارامتر درصد خلوص، اندازه ذره پودر و مورفولوژی ذرات تا حد ممکن به هم نزدیک باشند. نمونه K با ترکیب شیمیایی WC(92wt%)، TaC(2wt%) و Co(6wt%) و نمونه P با ترکیب شیمیایی WC(80wt%)، TaC(5wt%)، TiC(5wt%) و Co(10wt%) به تعداد ۱۰ عدد از هر یک در برنامه تهیه نمونه قرار داده شد. مورفولوژی پودرها نیز پارامتری متأثر از فرآیند ساخت آنها می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود، ذرات پودر به لحاظ اندازه، شکل و میزان پراکندگی از یکنواختی قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشند.

مواد اولیه در یک آسیاب افقی به مدت ۱۲ ساعت توسط گلوله‌هایی به قطر ۶ تا ۸ میلیمتر از جنس کاربید سماتنه با سرعت دورانی ۲۵۰rpm و نسبت گلوله به پودر ۳ به ۱ آسیاب شدند. مخلوط پودر تهیه شده توسط یک پرس مکانیکی از نوع هیدرولیکی با مکانیزم نیروی دو جهته درون قالبی به شکل مکعب مستطیل و به ابعاد $23/5 \times 7/4 \times 6/2$ میلیمتر با فشار ۴۰۰ مگاپاسکال پرس گردیدند. هر ۱۰ نمونه پرس شده با شرایط یکسان تهیه شدند تا در بررسی تاثیر زمان تعداد متغیرها کاهش پیدا کند. فرآیند سینتر توسط یک کوره الکتریکی و در دمای 1490 ± 5 درجه سانتیگراد در محیط خلاء نسبی 10^{-2} torr و زمان‌های متوالی ۱ تا ۱۰ ساعت انجام پذیرفت و سپس نمونه‌ها تحت اتمسفر گاز هلیوم با خلوص ۹۹/۹۵٪ بصورت کنترل شده تا دمای محیط خنک شدند. جهت ایجاد خلاء نسبی در کوره سینتر از دو پمپ Rotary و Mechanical Booster بطور سری استفاده شد. سپس نمونه‌ها قبل از انجام آزمایشهای مورد نظر توسط یک دستگاه سنگ مغناطیس تخت به ابعاد نهایی $20 \times 6 \times 5$ میلیمتر سنگ زنی شدند. انجام آزمون‌ها با تست‌های غیر مخرب شروع و با تست‌های تخریبی خاتمه یافت. بنابراین ابتدا آزمون‌های تعیین دانسیته، اندازه گیری اشباع مغناطیسی و اندازه نیروی پسماندزدای مغناطیسی انجام پذیرفت و پس از آن آزمون‌های اندازه گیری گسیختگی عرضی (TRS)، سختی سنجی و متالوگرافی انجام شد.

دانسیته نمونه‌ها براساس استاندارد ISO 3369 اندازه‌گیری گردید. در این آزمون از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی مدل GR300 ساخت شرکت AND ژاپن با دقت



شکل ۳. ریزساختار نمونه‌های سینتر شده الف) نمونه K یک ساعت سینتر شده ب) نمونه K ده ساعت سینتر شده ج) نمونه P یک ساعت سینتر شده د) نمونه P ده ساعت سینتر شده (دانه‌های آبی رنگ کاربید تنگستن، زرد رنگ کاربید تتالیم و کاربید تیتانیوم و سفید رنگ زمینه کبالتی می‌باشند. بزرگنمایی: X1500)

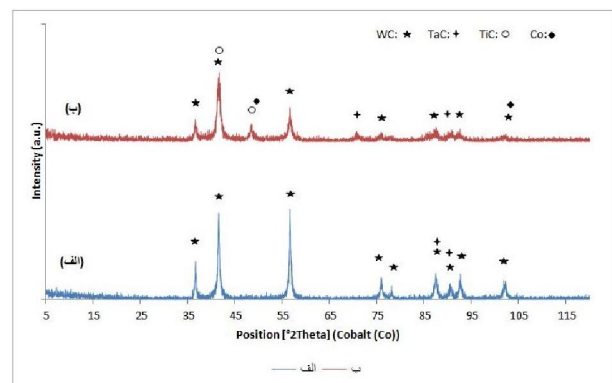
همانطور که ملاحظه می‌شود علی‌رغم زمان ده ساعته

مشاهده نمی‌شود [۱۳ و ۷]. این عدم مشاهده مؤید ثابت ترکیب شیمیایی محصول در زمان و شرایط سینترینگ و کنترل اتمسفر کوره می‌باشد. در رابطه با پیک‌های مربوط به ترکیب TaC در مقایسه با کارت مرجع این ترکیب مقداری جابجایی پیک به سمت زوایای کوچکتر را شاهد هستیم که علت آن انحلال جزئی کاربید تنگستن در کاربید تتالیم می‌باشد [۷]. با انجام این انحلال پارامتر شبکه کاربید تتالیم بزرگتر شده که در نتیجه طبق قانون براگ یعنی $\lambda = 2d \sin \theta$ محل پیک مربوطه به زوایای کوچکتر جابجا می‌شود.

جدول ۳. اطلاعات مربوط به ضرایب جذبی ترکیبات موجود در نمونه‌های

نوع K و نوع P [۱۲]

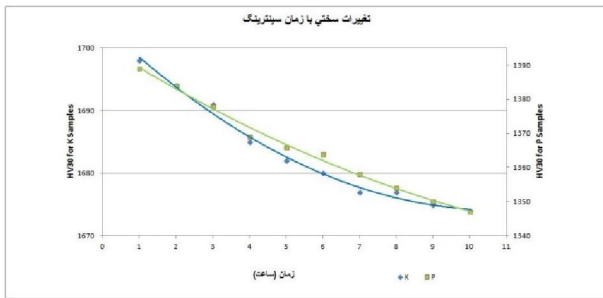
محصول نوع K				
NO.	Formula	Mol. weight	MAC [Cm ² /g]	Weight%
1	WC	195.86	237.07	92
2	TaC	192.96	225.92	2
3	Co	58.93	65.71	6
محصول نوع P				
1	WC	195.86	237.07	80
2	TaC	192.96	225.92	5
3	TiC	59.91	236.9	5
4	Co	58.93	65.71	10



شکل ۲. نمودار پراش اشعه ایکس نمونه ده ساعت سینتر شده

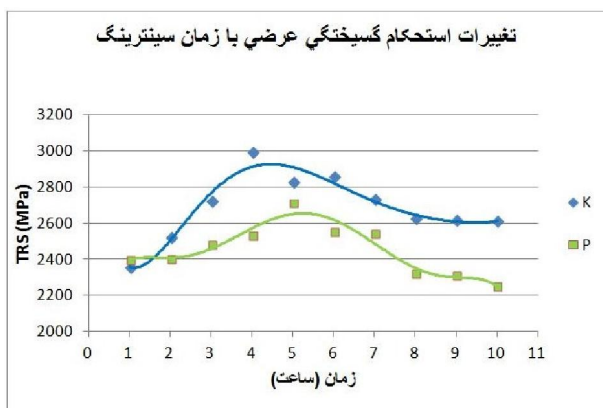
الف) محصول نوع K و ب) محصول نوع P [۱۲]

در شکل (۳) ریزساختار نمونه متالوگرافی شده نشان داده شده است. نمونه‌ها با محلول Murakami اچ شده‌اند. مطابق این شکل نمونه دارای ذرات کاربید تنگستن و تتالیم می‌باشد که بوسیله زمینه کبالتی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.



شکل ۵. نمودار تغییرات سختی با زمان سینتر

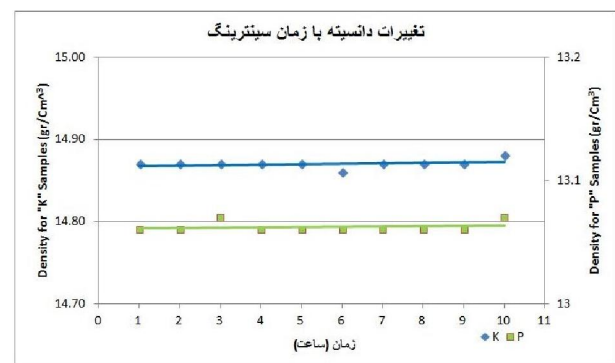
از آنجاییکه اندازه گیری استحکام کششی کاربدهای سمانته نتایج قابل اطمینانی را ارایه نمی‌نماید از نتایج آزمون گسیختگی عرضی (TRS) در این مطالعه استفاده شده است. میزان تغییرات استحکام گسیختگی عرضی در نمونه‌ها بر خلاف سختی می‌باشد. شکل (۶) شیب مثبتی را تا زمان چهار ساعت سینترینگ برای این پارامتر نشان می‌دهد. این پدیده را می‌توان به مکانیزم کاهش عیوب بوجود آمده حین فرآیند (ستز پودرها، آسیاب مخلوط پودری و پرس نمونه‌ها)، در اثر دمای بالای سینتر و داشتن زمان کافی در مراحل مختلف این فرآیند نسبت داد که در نتیجه آن مراکز جوانه زنی و رشد ترک در این ماده ترد تا حد زیادی از بین رفته و متعاقب آن افزایش استحکام شکست مشاهده می‌شود. همچنین رشد دانه‌ها در اثر اعمال حرارت در زمان باندازه کافی برای انجام فرآیند سینتر را نباید از نظر دور داشت. پس از گذر از ساعت چهارم فرآیند سینترینگ، افت استحکام مشهود می‌باشد. علت این پدیده را می‌توان غالب شدن مکانیزم رشد دانه به مکانیزم کاهش عیوب ساختاری نسبت داد.



شکل ۶. نمودار تغییرات استحکام گسیختگی عرضی با زمان سینتر

سینترینگ ذرات کاربید مورفولوژی خود را حفظ نموده و همچنین این ذرات بخوبی توسط فلز کبالت به یکدیگر متصل شده‌اند که نشان از قابلیت ترشوندگی بالای ذرات کاربیدی توسط مذاب این فلز به هنگام انجام سینترینگ در فاز مایع دارد. در بررسی به عمل آمده وجود تخلخل مشاهده نگردید. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش زمان سینتر، رشد دانه‌ها اجتناب ناپذیر می‌باشد [۱۴].

اندازه‌گیری دانسیته جهت تشخیص چگونگی و کیفیت فرآیند سینتر یکی از روش‌های غیر مخرب و سریع می‌باشد. همچنین ثبات دانسیته نشان از عدم هرگونه تغییر شیمیایی و یا فازی در ساختار می‌باشد. وجود فازهای نامطلوب در این گروه از کاربیدهای سمانته مانند کربن آزاد و تخلخل، می‌تواند نوسان چشمگیری را در دانسیته بوجود می‌آورد. بنابراین با توجه به شکل (۴) که رفتار با ثبات و بدون نوسانی را برای دانسیته نشان می‌دهد، می‌توان این نتیجه را گرفت که ساختار نمونه‌ها بدون تغییر بوده که البته بررسی ساختاری نیز این مطلب را تایید می‌نماید.

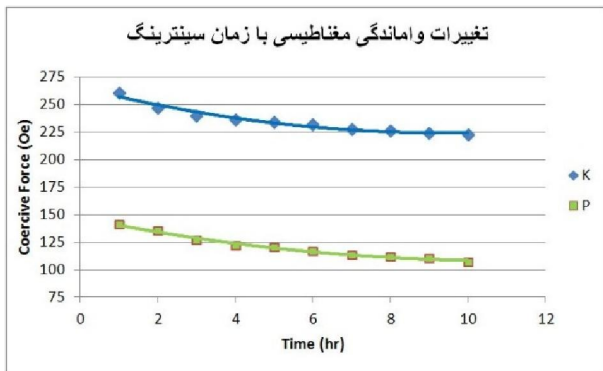


شکل ۴. نمودار تغییرات دانسیته با زمان سینترینگ

اندازه‌گیری سختی نمونه‌ها نشان داده است که با افزایش زمان، میزان سختی با یک شیب ملایم کاهش یافته و به تدریج از نرخ کاهش کاسته می‌شود. در کاربیدهای سمانته رشد دانه بطور قابل توجهی بر نتایج نهایی تاثیرگذار می‌باشد. کاهش عیوب کریستالی در اثر اعمال این فرآیند را نیز نباید از نظر دور داشت. این رفتار را در شکل (۵) می‌توان ملاحظه نمود.

در شکل (۷) تغییرات میزان اشباع مغناطیسی نسبت

نامطلوب کلیه خواص مورد بررسی مشاهده خواهد شد.



شکل ۸. نمودار تغییرات واماندگی مغناطیسی با زمان سینتر

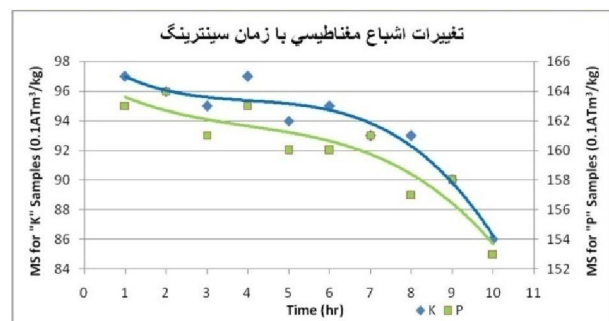
۴- نتیجه گیری

۱. با افزایش زمان سینتر انحلال کاربرد تنگستن در کاربردهای دیگر مانند تتالیم یا تیتانیوم صورت پذیرفت.
۲. در فرآیند بکار گرفته شده، دانسیته هر دو محصول بواسطه وجود نیامدن فازهای جدید تحت کنترل قرار داشت.
۳. رشد دانه‌ها با افزایش زمان سینتر در هر دو نوع محصول بطور نسبی مشهود بود.
۴. افزایش زمان سینتر موجب کاهش سختی در هر دو نوع محصول با روندی مشابه و بواسطه افزایش اندازه دانه شد.
۵. اعمال زمان سینتر از چهار تا پنج ساعت بر روی هر دو نوع محصول موجب افزایش استحکام گسیختگی عرضی بواسطه کم شدن مراکز جوانه زنی ترک شد.
۶. کاهش مشخصه های مغناطیسی یعنی میزان اشباع مغناطیسی و نیروی پسماند زدای مغناطیسی با افزایش زمان سینتر برای هر دو نوع محصول مشاهده گردید.
۷. با توجه به نتایج بدست آمده زمان سینتر مطلوب برای هر دو ترکیب، تحت شرایط مطرح شده جهت استفاده در شرایط سخت ماشینکاری، حدود سه ساعت توصیه می‌گردد.

مراجع

1. Lammerman, H., and Kienel, G., PVD Coating for Aircraft Turbine Blades, Advanced Mat. And Processes, Dec. 1991,18-23.

به زمان صرف شده برای سینتر ملاحظه می‌شود. از آنجاییکه فلز زمینه کبالت می‌باشد و این فلز به لحاظ خواص فیزیکی فرومغناطیس محسوب می‌شود، لذا میزان اشباع مغناطیسی ترکیب مورد نظر به شدت به میزان وجود آن در ترکیب اولیه و زمینه بستگی دارد. فرومغناطیس بودن کبالت در این مواد امکان انجام تست های غیرمخرب را برای بررسی کیفی چنین کامپوزیت هایی فراهم می‌آورد. با افزایش زمان سینتر درصدی از این فلز در فاز کاربرد بصورت محلول درآمده و از میزان حد اشباع مغناطیسی محصول کاسته می‌شود. از طرف دیگر با افزایش زمان سینتر شاهد رشد دانه‌ها نیز هستیم که خود سبب کاهش میدان مغناطیسی باقیمانده در نمونه‌ها می‌شود. این روند در شرایط دمایی ذکر شده تا حدود سه ساعت انجام فرآیند سینتر، افت قابل توجهی از خود نشان می‌دهد و پس از آن تا ساعت هفتم تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند.



شکل ۷. نمودار تغییرات رسیدن به حد اشباع مغناطیسی با زمان سینتر

پس از به اشباع رسیدن نمونه‌ها با قراردادن آنها در میدان مغناطیسی، شدت میدان لازم برای از بین بردن کامل میدان مغناطیسی باقیمانده در نمونه‌ها تحت بررسی قرارگرفت (شکل ۸). مشخص شد با افزایش زمان سینتر تا سه ساعت میزان افت در میدان مغناطیسی لازم برای از بین بردن میدان مغناطیسی در نمونه بشدت کاهش می‌یابد و پس از آن روند تغییرات آهسته می‌شود. این پدیده را می‌توان به رشد دانه‌ها در اثر افزایش زمان سینتر نسبت داد. میزان تغییرات مشخصه های اشباع مغناطیسی و واماندگی مغناطیسی ترکیب مورد بحث تا ساعت سوم سینترینگ افت نسبی داشته و از آن به بعد تا حدود ساعت ششم از تغییرات بسیار آهسته‌ای برخوردار می‌باشد ولی احتمالاً پس از زمانهای بررسی شده، ایجاد فاز های نامطلوب در زمینه اجتناب ناپذیر بوده و تغییرات

2. Longo, F., Thermal Spray Coatings Market, Trends, and Forecast, Proc. Thermal Spray Conf., Gorham Advanced Mat. Inst., Gorham, ME, 1992.
3. Rohde, S. L., Sputter Depositio, in ASM handbook, Surface Engineering, 1994, 5, 573-581, ASM Publ.
4. Singer, P., 1995: Looking Down the Road to Quarter-Micron Production, Semiconductor International, Jan. 1995, 46-52.
5. Sims, C. T., Non-Metallic Materials for Gas-Turbine Engines, Advanced Mat. And Processes, June 1991, 32-39.
6. Ralf Riedel, HANDBOOK OF CERAMIC HARD MATERIALS, WILEY-VCH, New York, 2000, XL VI.
7. Hugh O. Pierson, HANDBOOK OF REFRACTORY CARBIDES AND NITRIDES, Properties, Characteristics, Processing and Applications, NOYES PUBLICATIONS, Westwood New, Jersey, U.S.A., 1996, 69.
8. KARIN MANNESSON, WC grain growth during sintering of cemented carbides, Experiments and simulations, Doctoral Thesis, Stockholm, Sweden 2011
9. Oladapo Eso, Zhigang Zak Fang, Anthony Griffo, Kinetics of cobalt gradient formation during the liquid phase sintering of functionally graded WC-Co, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 25, 2007, 286-292, ELSEVIER.
10. Gopal S. Upadhyaya, CEMENTED TUNGSTEN CARBIDES, Production, Properties, and Testing, Section 8, 1998, ISBN: 0-8155-1417-4, NOYES PUBLICATIONS.
11. Dr. Seyed Ali Tayebifard, Training Course Manual, Non-Oxide Engineering Ceramics, Material & Research Center, Sep. 2012.
12. X'Pert HighScore Plus, Version: 2.2b (2.2.2) Date: 01-11-2006, Produced by: PANalytical B.V. Alemo, The Netherlands.
13. G.S. Upadhyaya, Materials science of cemented carbides _ an overview, Materials and Design, 22, 2001, 483-489.
14. Hwan Cheol Kim a, In Kyoon Jeong a, In Jin Shon a,*, In Yong Ko a, Jung Mann Doh, Fabrication of WC-8 wt.%Co hard materials by two rapid sintering processes, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 2006.