نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران
ویژه‌نامه مهندسی مواد و متالورژی، جلد ۱۹، شماره ۵، سال ۱۳۸۷، صفحه ۱۰۳-۹۹

بررسی عوامل موثر بر سختی و چقرمگی شکست هاردمتال‌های کاربیدتنگستن-کبالت

حامد علی‌اکبرزاده و مریم ولیعی

چکیده: خواص مکانیکی هاردمتال‌ها به میزان زیادی تابع مشخصات مواد اولیه، اندازه دانه کاربید، نوع و میزان بایندر و شرایط پخت است. در تحقیق حاضر، تاثیر درصد فاز بایندر و شرایط اولیه پودر و دمای پخت بر خواص مکانیکی سختی و چقرمگی شکست هاردمتال‌های کاربیدتنگستن-کبالت مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که انجام فرآیند گرانوله‌سازی پودر پس از آسیاب و قبل از مرحله شکل‌دهی منجر به بهبود خواص مکانیکی نهایی قطعه می‌گردد. برای ترکیب ۸٪ کبالت، دمای پخت ۱۴۴۰°C منجر به حصول سختی و چقرمگی شکست مناسب و مطلوب گردیده است. اما برای ترکیبات ۱۰ و ۱۲٪ کبالت افزایش دمای پخت تا ۱۴۴۰°C منجر به کاهش سختی و افزایش چقرمگی شکست شده است.

واژه‌های کلیدی: هاردمتال کاربیدتنگستن-کبالت، دمای پخت، سختی، چقرمگی شکست

۱. مقدمه

قطعات کاربیدتنگستن در حقیقت کامپوزیت‌هایی هستند، که در آنها ذرات پودر کاربیدتنگستن توسط یک فاز فلزی به یکدیگر اتصال پیدا کرده‌اند. هر چه میزان فلز اتصال دهنده در این کامپوزیت بیشتر باشد، از سختی، مقاومت به خوردگی و استحکام کامپوزیت کاسته می‌شود، ولی چقرمگی آن بیشتر خواهد شد[۱،۲].

خواص مکانیکی کاربیدهای سمانته WC-Co به اندازه، مورفولوژی و نوع اتصالات فازهای اصلی بستگی دارد. کنترل میزان کربن پودرهای WC و توزیع یکنواخت کبالت در قطعات خام، در عدم تشکیل ذرات بزرگ و غیرعادی در کاربیدهای سمانته تاثیرگذار خواهد بود. طبق تحقیقات انجام شده، ناخالصی‌های موجود در پودرهای اولیه تاثیر چندانی بر رشد و یا عدم تمایل رشد کریستال‌های کاربیدی در آلیاژهای WC-Co ندارند؛ هر چند که در ترکیب این آلیاژها از ممانعت‌کننده‌های رشد که در واقع وظیفه کنترل رشد دانه را بر عهده دارند، استفاده می‌گردد[۱،۲]. انتخاب صحیح اندازه دانه کاربیدها و همچنین نوع و مقدار فلز اتصال‌دهنده، نقش به‌سزایی در کیفیت قطعه نهایی و چگونگی خواص آن دارد[۳].

سختی، که معیاری برای مقاومت جسم می‌باشد، علاوه بر ترکیب شیمیایی، به میزان تخلخل و ریزساختار ترکیب بستگی دارد. با ثابت در نظر گرفتن دانه‌بندی کاربیدها و افزایش فلز اتصال‌دهنده،کبالت، می‌توان شاهد کاهش سختی قطعات بود. از سوی دیگر با ثابت ماندن مقدار فلز اتصال‌دهنده و کاهش اندازه دانه ذرات کاربیدتنگستن میزان سختی قطعات افزایش می‌یابد. با توجه به تحقیقات Faria و همکارانش[۴]، با استفاده از ممانعت‌کننده‌های رشد دانه در ترکیب، می‌توان به سختی‌های بالا در هاردمتال‌ها دست یافت. میزان سختی WC-Co با افزایش درجه اتصال جامد-جامد ذرات WC در ماده کاملا پیوسته وکاهش اندازه ذرات WC، افزایش خواهد یافت.

چقرمگی شکست کاربیدهای سمانته با افزایش میزان کبالت و اندازه دانه‌ها افزایش می‌یابد. از سوی دیگر افزودن کاربیدهای افزودنی با ساختار مکعبی، باعث کاهش چقرمگی شکست آلیاژهای WC-Co می‌گردد[۱].

در سال‌های اخیر، از WC-Co با اندازه دانه زیرمیکرون، درکاربردهایی که نیاز به چقرمگی بیشتری دارند، استفاده می‌شود. برای دستیابی به پودرهایی با اندازه دانه ریزتر، می‌توان مقادیر جزئی(۰/۲۵ تا ۳ درصد وزنی) از کاربیدهای تانتالم، نایوبیم، وانادیم یا کروم را به ترکیب افزود. کاربیدهای یاد شده به عنوان عامل بازدارنده از رشد، ایفای نقش می‌کنند. کاربیدکروم علاوه بر نقش بازدارندگی از رشد دانه‌ها، سبب دستیابی به خواص مکانیکی

تاریخ وصول: ۸۵/۴/۱۵
تاریخ تصویب: ۸۷/۱۰/۳۰

حامد علی‌اکبرزاده، کارشناس ارشد مهندسی مواد و متالورژی، پژوهشکده علوم و فنآوری مهام. a.akbarzadeh@gmail.com

مریم ولیعی، کارشناس ارشد مهندسی مواد و متالورژی، پژوهشکده علوم و فنآوری مهام. valiee.m@gmail.com

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

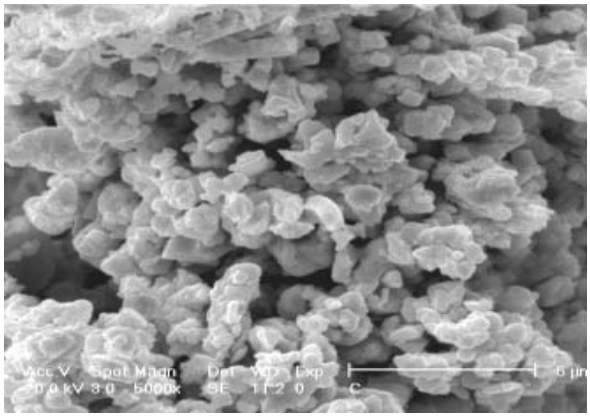
مطلوب در قطعات می‌گردد[۳]. در مقاله حاضر به صورت علمی و بر اساس شرایط موجود، تاثیر دمای پخت، میزان بایندر و مشخصات مواد اولیه بر روی ترکیبات هاردمتال کاربیدتنگستن-کبالت مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. روش انجام آزمایش

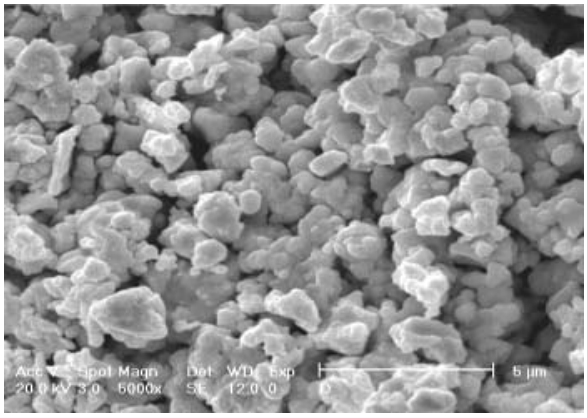
بررسی‌ها نشان می‌دهد که ترکیبات با ۱۲-۸ درصد وزنی فاز بایندر از خواص فیزیکی و مکانیکی مناسبی برخوردار می‌باشند[۱،۲]. لذا میزان بایندر کبالت در نمونه‌ها، به ترتیب ۸، ۱۰ و ۱۲ درصد وزنی در نظر گرفته شد. همچنین از کاربیدوانادیم و کاربیدکروم به عنوان افزودنی‌های ترکیب و به میزان ثابت ۰/۵ درصد وزنی از هر یک استفاده گردید.

بر این اساس نمونه‌ها به ترتیب، به صورت V8، V10 و V12 کدگذاری شدند. آسیاب و مخلوط کردن نمونه‌ها توسط آسیاب سیاره‌ای انجام گرفت. آسیاب در محیط تر الکل انجام شد. نسبت گلوله به پودر به میزان ۱۰ به ۱ مورد استفاده قرار گرفت. اسید استئاریک و پارافین به ترتیب به میزان ۰/۵و ۲ درصد وزنی از وزن کل پودر به عنوان کمک آسیاب و بایندر حین شکل‌دهی به مخلوط اضافه گردید. مخلوط تهیه شده پس از انجام آسیاب به مدت زمان ۵ ساعت، در خشک‌کن در دمای ۱۰۰°C و در محیط خلاء نسبی به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند. پس از خشک شدن مخلوط، پودر حاصل، از الک با مش ۲۰۰ عبور داده شده و آماده انجام عملیات شکل‌دهی گردید. شکل و توزیع دانه‌بندی پودرهای V8، V10 و V12 به ترتیب در شکل‌های ۱ تا ۳ ارایه شده است. در این تصاویر مشاهده می‌شود که پودرهای حاصل دارای شرایط نسبتاً یکسانی از نظر شکل و توزیع ذرات می‌باشند.

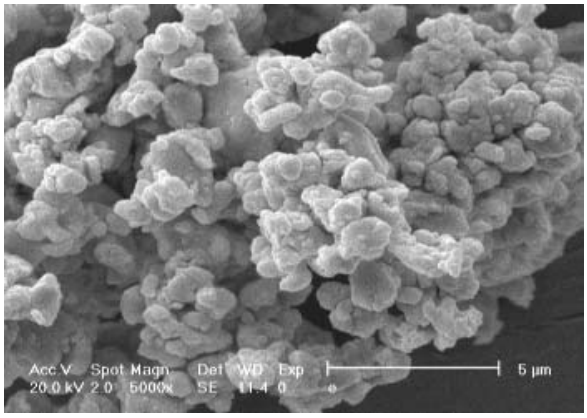
از طرفی علاوه بر تهیه ترکیبات مورد نظر، به منظور مقایسه شرایط مشخصات اولیه پودر، مقادیری پودر آماده و مخلوط شده خارجی و آماده شکل‌دهی با عنوان تجاری پودر "Compound" مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب این پودر در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱. تصویر SEM پودر V8



شکل ۲. تصویر SEM پودر V10



شکل ۳. تصویر SEM پودر V12

همچنین شکل ۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی این پودر آورده شده است. مشاهده می‌گردد که پودرها پس از مخلوط سازی به صورت گرانوله شده درآورده شده‌اند؛ این امر از طریق انجام فرآیند خشک کردن پاششی بعد از انجام مرحله آسیاب صورت می‌گیرد. همچنین مشخص است که متوسط اندازه ذرات کاربیدتنگستن پودرهای تولیدی V8، V10 و V12(شکل‌های ۱ تا ۳) با پودر Compound(شکل ۴-ب) به هم نزدیک است؛ و تنها تفاوت بین آنها انجام مرحله گرانوله‌سازی بر روی پودر Compound است.

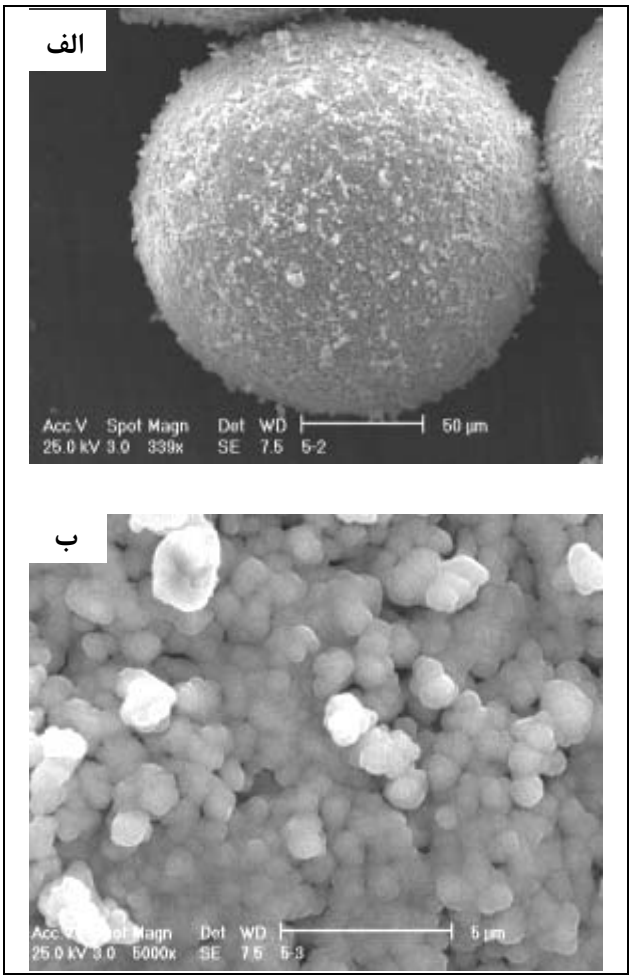
برای پرس نمونه‌ها، از دستگاه پرس۶۰ تن، استفاده گردید. میزان فشار پرس اعمالی ۲۴۰MPa در نظر گرفته شد. نرخ اعمال فشار ۱mm/min بوده و زمان نگهداری در این فشار به مدت ۱min بوده است. پخت نمونه‌ها در کوره الکتریکی تیوپی و در شرایط گاز محافظ آرگون انجام گرفت. از آنجایی که دمای پخت بهینه لازم برای نمونه‌های هاردمتال در محدوده ۱۳۵۰-۱۴۵۰°C می‌باشد، لذا نمونه‌ها در این محدوده دمایی و در سه دمای ۱۳۶۰°C، ۱۴۰۰، ۱۴۴۰ با دقت دمایی ±۵°C پخت شده و تاثیر شرایط پخت با تغییر دما بر زینتر نمونه‌ها مورد نظر قرار گرفت. فرآیند پخت در شکل ۵ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در سیکل پخت نمونه‌ها، علاوه بر دمای نهایی پخت، دو مرحله دیگر نیز در نظر گرفته شده است. مرحله اول، مرحله بایندرزدایی نمونه‌ها می‌باشد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

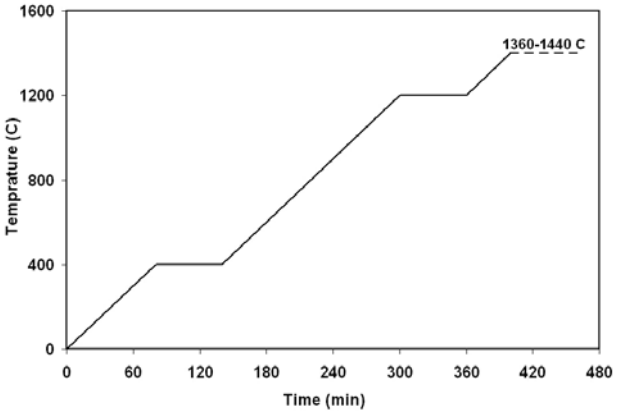
این مرحله معمولاً در محدوده دمایی ۲۸۰-۴۶۰°C انجام می‌گیرد. در این قسمت لازم است تا نمونه‌ها با نرخ آهسته‌تری گرم شوند و یا یک توقف گرمایی داشته باشند. مرحله دوم، خروج گازهای حاصل از انجام واکنش و پیش‌پخت ترکیب می‌باشد. لذا لازم است تا مدت زمان ۹۰-۳۰ دقیقه در محدوده دمایی ۱۱۰۰-۱۲۵۰°C در پخت نمونه‌ها لحاظ گردد. مرحله سوم که همان دمای نهایی پخت است در واقع مرحله تکمیل ریزساختار نمونه‌ها می‌باشد که در دمای حداکثر و به مدت ۶۰ دقیقه صورت گرفت. نرخ گرمایش فرآیند پخت ۵ °C/min در نظر گرفته شد. در نهایت سرمایش نمونه‌ها در کوره انجام پذیرفت.

جدول ۱. ترکیب پودر تجاری Compound مورد استفاده

نام ماده	Co	TiC	Ta(Nb)C	WC
درصد وزنی	۱۲/۰	< ۰/۵	< ۱/۵	Rest



شکل ۴. تصاویر SEM از پودر Compound
الف. تصویر یک ذره گرانوله شده از پودر
ب. تصویر داخلی ذره پودر گرانوله شده



شکل ۵. برنامه پخت نمونه‌ها

سختی نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM B294-76(1982)، با استفاده از روش سختی ویکرز و اعمال بار ۳۰ کیلوگرم تعیین شد. چقرمگی شکست نمونه‌ها نیز بر اساس محاسبه طول ترک ناشی از نقطه اثر فرورونده ویکرز مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین این مشخصه از روش Palmqvist [۵] استفاده گردید.

برای آماده‌سازی نمونه‌ها و بررسی دانه‌بندی نمونه‌ها از محلول اچ Murakami و از استاندارد ASTM B657-79(1979) استفاده گردید. برای بررسی مشخصات پودرها از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل XL-30 ساخت شرکت Philips کشور هلند استفاده شد.

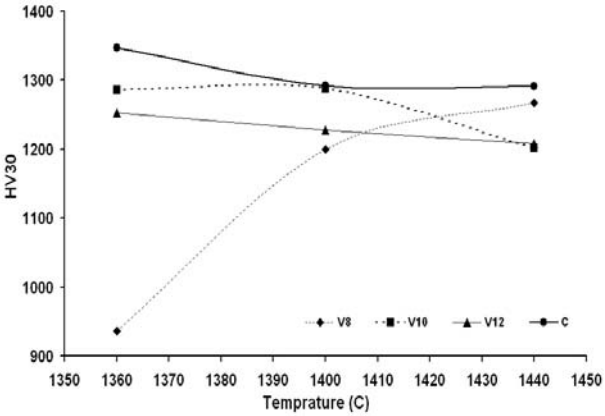
۳. نتایج و بحث

نتایج سختی نمونه‌ها در شکل ۶ آورده شده است. میزان سختی برای نمونه V8 در دمای ۱۳۶۰°C با توجه به کم بودن میزان درصد کبالت، جریان‌یابی سخت‌تر مذاب، نرسیدن به دانسیته مناسب و باقی ماندن تخلخل‌ها پایین می‌باشد. با افزایش دما به دلیل انجام چگالش، افزایش سختی در این ترکیب صورت گرفته است. اما برای نمونه‌های V10، V12 و C چون در تمامی دماهای پخت تقریباً چگالش به صورت کامل انجام گرفته است، لذا در دمای ۱۳۶۰°C بیشترین میزان سختی حاصل شده و با افزایش دما میزان سختی کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش می‌تواند ناشی از رشد دانه‌های کاربیدتنگستن باشد.

در واقع در این مرحله مشخص است که میزان بایندر تاثیر بسزایی بر تعیین دمای مناسب پخت دارد. از طرفی مقایسه سختی نمونه‌های V12 و C که هر دو دارای ۱۲ درصد وزنی کبالت هستند، استفاده از افزودنی متفاوت و گرانوله شدن پودر اولیه که جریان‌یابی بهتر کبالت[۱] را به همراه دارد، باعث بهبود سختی نمونه C نسبت به نمونه V12 شده است.

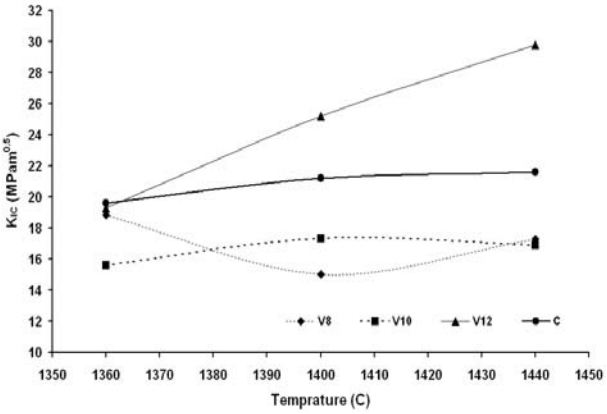
نتایج چقرمگی شکست در شکل ۷ نشان می‌دهد که عموماً با افزایش فاز نرم کبالت میزان چقرمگی افزایش یافته است. از طرفی با افزایش دما میزان چقرمگی نیز افزایش نشان می‌دهد که این امر می‌تواند ناشی از رشد دانه‌های کاربیدتنگستن باشد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]



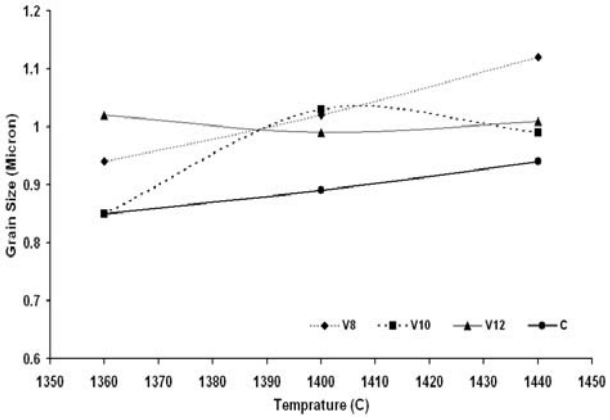
شکل ۶. سختی ویکرز نمونه‌های هاردمتال پخت شده در دماهای مختلف

نتایج حاصل از چقرمگی با نتایج سختی همخوانی مناسبی دارد، زیرا با افزایش مقدار چقرمگی، سختی کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه اینکه این روند در مورد نمونه V8 در دمای ۱۳۶۰°C صادق نمی‌باشد. دلیل این امر با توجه به بررسی‌های انجام گرفته، می‌تواند ناشی از وجود تخلخل‌های زیاد در این نمونه باشد. از طرفی روند نتایج سختی برای نمونه‌های V12 و C نیز در مورد چقرمگی نیز صادق است. به طوری‌که در نمونه V12 میزان چقرمگی شکست بیش از نمونه C است. دلیل این امر می‌تواند ناشی از وجود میزان بالای کاربیدهای مکعبی TiC، TaC و NbC [۱] در نمونه C نسبت به نمونه V12 باشد که کاهش چقرمگی شکست نمونه C را نسبت به نمونه V12 به همراه داشته است.



شکل ۷. چقرمگی شکست نمونه‌های هاردمتال پخت شده در دماهای مختلف

در شکل ۸ نتایج حاصل از تعیین اندازه دانه‌های کاربیدتنگستن در ترکیبات مختلف موجود آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود به طور کلی با افزایش دمای پخت، اندازه دانه‌های کاربیدتنگستن افزایش یافته است. در نمونه V8 مطابق سایر نتایج مشاهده گردید که در دمای ۱۳۶۰°C چگالش کامل انجام نشده است؛ در واقع می‌توان چنین برداشت نمود که در این مرحله رشد دانه رخ نداده است. روند رشد دانه‌های کاربیدتنگستن به طور نسبی برای نمونه V10 نیز تکرار گردیده است. این امر با نتایج سایر خواص به دست آمده برای این نمونه همخوانی مناسبی دارد. اما برای نمونه V12 این امر متفاوت است و تغییرات محسوسی در اندازه دانه مشاهده نمی‌گردد. برای این نمونه فرآیند چگالش کامل، به دلیل بالا بودن میزان کبالت، در تمامی دماها رخ داده است؛ و میزان سختی نیز کاهش چندانی را نشان نمی‌دهد، این امر با عدم تغییر در اندازه متوسط دانه‌ها همخوانی دارد. نکته قابل توجه در این بین کوچک بودن اندازه دانه در نمونه C در تمامی دماها است. این امر خود تاییدکننده خواص بدست آمده برای نمونه C نسبت به نمونه V12 است. از طرفی رشد ناچیز دانه‌ها با افزایش دما در نمونه C، در حالی‌که در این نمونه از دمای ۱۳۶۰°C چگالش کامل رخ داده است، مبین نقش موثر حضور ممانعت‌کننده‌های رشد دانه WC در این ترکیب است.



شکل ۸. نتایج حاصل از محاسبه اندازه دانه کاربیدتنگستن نمونه‌های هاردمتال در دمای مختلف پخت

۴. نتیجه‌گیری

۱- سختی نمونه ۸٪ کبالت در دمای ۱۳۶۰°C با توجه به عدم ذوب کامل و نرسیدن به دانسیته مناسب، پایین بوده و با افزایش دما و انجام چگالش کامل، افزایش سختی در این ترکیب رخ می‌دهد.

۲- برای ترکیب ۱۰ و ۱۲٪ کبالت به دلیل ذوب کامل در محدوده دمایی ۱۳۶۰-۱۴۴۰°C، در دمای ۱۳۶۰°C بیشترین میزان سختی در محدوده ۱۳۶۰-۱۲۵۰ ویکرز حاصل شده و با افزایش دما میزان سختی کاهش می‌یابد.

۳- سختی نمونه‌های Compound پخت شده در دمای ۱۳۶۰°C برابر ۱۳۵۰ ویکرز بدست آمد، این میزان با افزایش دمای پخت به ۱۴۴۰°C دچار افت تا حدود ۱۲۹۰ ویکرز می‌شود.

۴- برای نمونه Compound در دمای پخت ۱۴۴۰°C میزان چقرمگی شکست حدود ۲۲ $MPam^{0.5}$ حاصل شد. این میزان با کاهش دمای پخت به ۱۳۶۰°C به حدود ۱۹/۵ $MPam^{0.5}$ کاهش می‌یابد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]

۵- در ترکیب ۱۲٪ کبالت در محدوده دمایی $1360-1440^{\circ}C$ تغییرات محسوسی در اندازه دانه و سختی مشاهده نمی‌گردد.

۶- اندازه متوسط دانه‌های کاربیدتنگستن ترکیب‌های ۸، ۱۰ و ۱۲٪ کبالت در محدوده ۱/۱-۰/۹ میکرون حاصل شد، در حالی‌که این میزان برای نمونه Compound در محدوده ۱-۰/۸ میکرون بدست آمد.

۷- انجام فرآیند گرانوله‌سازی پودر منجر به بهبود خواص نهایی قطعات می‌گردد. همین امر باعث ایجاد اختلاف در نتایج نمونه‌های ۸، ۱۰ و ۱۲٪ کبالت با نمونه Compound گردیده است.

مراجع

[1] Upadhyaya, G.S., *Cemented Tungsten Carbides, Production, Properties and Testing*, Noyes publication, 1998.

[2] ASM Metals Handbook, "*Powder Metallurgy*", 5ed, ASM International, Vol.7, 1993.

[3] Larsson, C., Odén, M., "*Hardness Profile Measurements in Functionally Graded WC–Co Composites*", Materials Science and Engineering, Vol. A382, 2004, PP.141–149.

[4] Faria, Jr. R.T., Rodrigues, M.F., Esquef, I.A., Vargas, H., Filgueira, M., "*On the Thermal Characterization of a HPHT Sintered WC–15% Wt Co Hardmetal Alloy*", International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, Vol. 23, 2005, PP.115–118.

[5] Schubert, W.D., Neameister, H., Kinger, G., "*Hardness to Toughness Relationship of Fine-Grained WC-Co Hard Metals*", International journal of refractory metals & hard material, Vol. 16, 1998, PP. 133-142.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-27]