فصلنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک جامدات

http://jsme.iaukhsh.ac.ir

فصلنامه علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک جامدات

بررسی خواص نانوکامپوزیت پایه تیتانیوم متراکم شده به روش استاتیکی در فشار های متفاوت

فرزاد فریبا [۱*] ، رضا جمشیدی [۲]

* نویسنده مسئول: Farzad.Fariba@Gmail.com

چکیده

امروزه ساخت انواعی از نانوکامپوزیت‌ها، برای دستیابی به موادی که دارای خواص ترکیبی از ماده پایه و ماده افزودنی باشند، مورد توجه محققان و مراکز تحقیقاتی قرار گرفته است. یکی از روش‌های ساخت نانوکامپوزیت‌ها استفاده از روش متالورژی پودر می باشد، زیرا با استفاده از این تکنیک علاوه بر کاهش ضایعات احتمالی، می‌توان موادی را که دارای نقطه‌ی ذوب بالا هستند با مواد دارای نقطه‌ی ذوب پایین تر ترکیب نمود که این کار با روش ریخته‌گری بسیار دشوار می باشد. در این تحقیق، آلیاژ تیتانیوم برای بهبود خواص مکانیکی با تقویت‌کننده‌ی کاربید سیلیسیم ترکیب شده و تشکیل یک نانو کامپوزیت داده است. در این تحقیق برای تولید این نانو کامپوزیت، از روش فشردن استاتیکی با استفاده از دستگاه پرس سرد استفاده شده است. برای بررسی تاثیر نانو کاربید سیلیسیم در خواص مکانیکی نمونه ها، سه درصد مختلف تقویت کننده‌ی نانوپودر کاربید سیلیسیم و همچنین، سه فشار کامپکت مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، آزمایش‌های چگالی، مشاهده مرزبندی دانه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی، تست فشار و آزمایش سختی برای استخراج خواص مکانیکی نمونه ها، انجام شده است. در نهایت نتایج آزمایش های انجام شده به همراه تحلیل نتایج ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی

نانوکامپوزیت، متالورژی پودر، پرس استاتیکی سرد، تقویت کننده‌ی کاربید سیلیسیم.

تاریخ ارسال:	۹۴/۰۹/۲۸
تاریخ بازنگری:	۹۴/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش:	۹۵/۰۱/۲۵

۱--استادیار گروه مکانیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان.

۲- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان.

Archive of SID

www.SID.ir

Summer 2016/ vol. 9/ No. 2

Journal of
Solid Mechanics
in Engineering

Journal of

Solid Mechanics in Engineering

http://jsme.iaukhsh.ac.ir

Investigation of the titanium nano composite statically compacted with the different pressure

Farzad Fariba[1,*], Reza Jamshidi[2]

* Corresponding Author: Farzad.Fariba@Gmail.com

Abstract:

Building the Nano composites for getting material with combinational properties and improving properties of currently used material has been taken significant attention. One of the ways of building Nano composites is using a method known as powder metallurgy. Because with this method not only wastes are decreased to minimum but we can also mix the materials with high melting point with the materials with low melting point which is a difficult thing to do with foundry method. In this research titanium alloy for improvement in its mechanical properties is mixed with silicon carbide reinforcing. Knowing the fact that silicon carbide is in Nano scale these two materials start building Nano composites. The powder metallurgy method is the best way for mixing these two materials together. To make sure that the properties of the made alloy is similar to the foundry alloy, the static compression methods are used. For comparison the results, two factors such as the Nano silicon carbide percentage and the static compression pressure are. Also, Density experiment, observation of grain boundaries using a scanning electron microscope, pressure test and the hardness experiment was done on it.

Key words:

Nano composites,
powder metallurgy,
Static compression pressure,
Titanium,
Silicon carbide reinforcing.

Archive of SID

1- Assistant Professor, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
2- MSc Student, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.

www.SID.ir

۱- مقدمه

مطالعات در زمینه صنایع حمل و نقل، هوافضا، پزشکی و الکترونیک نشان می‌دهد که آلیاژهای با نسبت استحکام به وزن بالا، چقرمگی شکست مطلوب، حد خستگی و شکل پذیری مطلوب بسیار مورد توجه این صنایع می باشد. آلیاژهای تیتانیوم، منیزیم و آلومینیوم از پرکابردترین فلزات در این صنایع می باشند. با افزودن عناصر دیگر به این فلزات، خواص آن ها را بهبود داده و در حقیقت نقاط ضعف این آلیاژ ها را بر طرف می نمایند. با افزودن درصد های مختلفی از نانو ذرات به فلز پایه خواص بهبود یافته گوناگونی حاصل می‌شود که می توان برای هر کاربرد بخصوص آن را مورد استفاده قرار داد. وزن کم نانو کامپوزیت‌ها ی به کار رفته در این مواد، یکی از مهم ترین علل کاربرد وسیع این مواد در صنایع مختلف مخصوصا در خودروسازی و هوافضا بوده است. د. وزن کم همواره یکی از نکات برجسته و شاخص در تکنولوژی خودروسازی و صنایع هوافضا بوده است که در آن کاهش وزن همواره به عنوان یک ویژگی منحصر به فرد مطرح بوده است. از این رو محققان تحقیقات وسیعی را بر روی این نوع مواد شروع نموده و توسعه داده اند.

اسمیت [۱] در سال ۱۹۸۴ نشان داد که با افزودن عناصری از قبیل نانو کامپوزیت ها می توان خواص مواد فلزی از جمله آلیاژ های تیتانیوم و آلومینیم را بهبود داده و مورد استفاده قرار داد. وان لی و همکاران [۲] در سال ۲۰۰۶ در یک مقاله تحقیقاتی نشان دادند چنان چه مرحله تراکم و فشرده سازی از ابتدا به صورت گرم انجام گیرد، معمولاً به فرآیندهای زینترینگ دیگری نیاز نخواهد بود. مونگخامکلانگ و همکاران [۳] در سال ۲۰۰۸ در زمینه کاربردهای صنعت حمل و نقل، هوافضا، پزشکی و الکترونیک نشان داد که آلیاژهای مورد استفاده در این صنایع باید دارای نسبت استحکام به وزن بالا و مناسب، به همراه چقرمگی شکست مطلوب، حد خستگی بالا و همچنین، شکل پذیر باشند. آنان در تحقیق خود نشان دادند آلیاژهای تیتانیوم و آلومینیم دارای این خصوصیات می باشند. این دو فلز به صورت خالص استحکام مطلوب را نداشته و به این دلیل در عمل کاربردی ندارند. مونتلگرو و همکاران [۴] در سال ۲۰۰۷ به بررسی عملیات تثبت کامپوزیت تیتانیوم و رسیدن به بیشترین چگالی با روش آلیاژسازی مکانیکی پرداختند. آن ها نشان دادند که هنگام میکس کردن و زینترینگ و کامپکت کردن بیشترین حالت اکسید شدن روی می دهد و برای حل آن از مواد آنتی اکسیدان استفاده نمودند. صادقیان و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۱ نشان دادند اگر فشرده سازی پودر در حالت سرد انجام پذیرد، جهت زینتر نمودن پودر به فرآیندهای دیگری همانند فشرده سازی گرم، اکستروژن گرم و پرس ایزواستاتیک گرم نیاز می باشد و از این روش اقدام به توابد یک نوع نانو کامپوزیت نمودند. خان و همکاران[۶] در سال ۲۰۱۳ به بررسی میکرو ساختار و خواص فشاری و کششی پودر Ti–6Al–4V پرداختند. ژانگ و همکاران [۷]در سال ۲۰۱۵ تحقیقاتی در خصوص ساخت نانوکامپوزیت های زمینه تیتانیومی انجام دادند. آن ها نشان دادند که در بسیاری از موارد، پودر تیتانیوم به عنوان ماتریس به همراه افزودنی هایی مانند ذرات سرامیکی همچون زیرکونیوم، آلومینا، مولیبدن، ، کاربید سیلسیم، خواص مکانیکی و سختی را بهبود می بخشد. آن ها در ساخت این نانو کامپوزیت ها از عملیات آسیاب کاری مکانیکی، پرس سرد و اکستروژن گرم استفاده کردند. آن ها همچنین نشان دادندکه نوع ماده تقویت کننده بر اساس خاصیتی که از ماده نهایی انتظار می‌رود، انجام می‌گیرد. به طوریکه مثلاً با افزودن کاربید بور که سومین ماده سخت در طبیعت می‌باشد(پس از الماس و نیتریت بور)، سختی،

Archive of SID

www.SID.ir

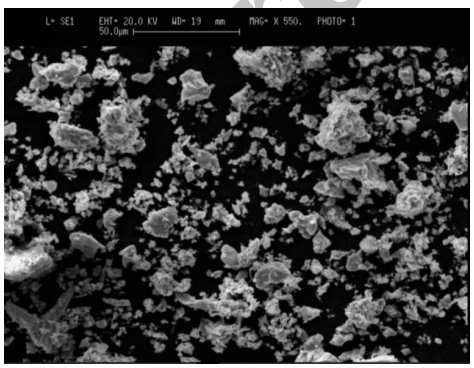
استحکام فشاری و سایشی نانوکامپوزیت حاصل افزایش چشمگیری می یابد.

نانوتکنولوژی، پدیده ای است که می‌تواند منجر به بهبود خواص مواد گردد، به طوری که مطالعات نشان می‌دهند با ساخت نانوکامپوزیت‌های زمینه تیتانیوم که توسط نانوذرات مختلف (معمولاً سرامیکی) تقویت شده باشند، می‌توان به این مهم دست یافت[۱و۳]. برای ساخت نانوکامپوزیت‌ها روش‌های مختلفی ازقبیل روش الکتروشیمیایی و تعادلی گرفته تا تکنیک های مکانیکی و ترمو مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر روش برای تهیه نوع خاصی از نانو کامپوزیت ها با کاربرد ها و خواص مشخصی به کار می رود. روش های مکانیکی و ترمومکانیکی نظیر تثبیت به کمک موج شوک، پرس گرم، پرس گرم ایزواستاتیک و اکستروژن گرم به دلیل ماهیت مکانیکی آن ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. در ورش معمول و به کار رفته در این مقاله، پس از ترکیب و همگن سازی پودر اولیه با پودر نانو، مراحلی جهت تثبیت و تراکم و سپس زینتر نمودن قطعه خام مورد نیاز می‌باشد. در عملیات زینتر نمودن نمونه ای یکپارچه به دست می آید. به طور کلی با بررسی تحقیقات انجام شده در این خصوص، می‌توان نتیجه گیری نمود که اگر فشرده سازی پودر در حالت سرد انجام پذیرد، جهت زینتر نمودن پودر به فرآیندهای دیگری همانند فشرده سازی گرم، اکستروژن گرم و پرس ایزواستاتیک گرم نیاز است[۵, ۸]. در مقابل، چنان چه مرحله تراکم و فشرده سازی از ابتدا به صورت گرم انجام گیرد، معمولاً به فرآیندهای زینترینگ دیگری نیاز ندارد[۹].

در مقاله حاضر، با استفاده از روش فشردگی استاتیکی، پودر نانو کاربید به عنوان ماده افزودنی به پودر تیتانیوم افزوده شده و با اطمینان از همگن شدن پودر، عملیات زینتر در کوره حرارتی انجام شده است. نمونه ها در سه درصد مختلف صفر، ۵ و ۱۰ درصد کاربید سیلیسیم تهیه شده و در سه فشار استاتیکی مختلف فشرده شده اند. در حقیقت تاثیرات فشار فشرده سازی و نیز درصد کاربید سیلیسیم در خواص مکانیکی نمونه به دست آمده، با استفاده از تست های خواص مکانیکی بررسی شده است. آزمایش های انجام شده برای نمونه ها آزمایش سختی، استحکام فشاری و بررسی ریز ساختار ها می باشند.

۲- عملیات و روش تولید نمونه ها

ماده‌ی اولیه مورد استفاده در این تحقیق پودر تیتانیوم با مش زیر ۴۵ میکرومتر وپودرنانوکاربید سیلیسیم با مش‌بندی آن ۶۵-۴۵ نانومتر می باشند. به منظور ریزتر کردن پودر و افزودن نانو پودر کاربید سیلیسیم و ماده‌ی روان‌ساز استئاریک اسید باید از آسیاب استفاده شود. برای تهیه‌ی سه نوع پودر تیتانیوم بادرصد های وزنی ۰٪ و ۵٪ و ۱۰٪ نانو پودر کاربید سیلیسیم از یک آسیاب سیاره‌ای[5] استفاده شد. همچنین، با استفاده از دستگاه گریز از مرکز چودر یکنواخت و همگنی به دست آمد. برای اطمینان از توزیع یکنواخت نانو پودر در پودر پایه و نیز مشاهده دانه ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی[6] استفاده شده است. در شکل (۱) پودر تیتانیوم آسیاب شده با بزرگنمایی[7] های مربوطه با درصد های ذکر شده از پودر نانو کاربید سیلیسیم نشان داده شده است. همان‌طور که در عکس ها مشاهده می‌شود پودرهایی با شکل کروی، سوزنی، استوانه‌ای، عضله‌ای، غیر منظم وجود دارد.

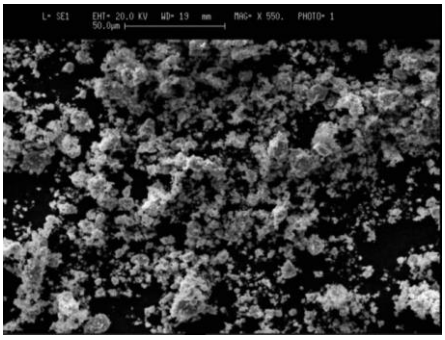


(الف)

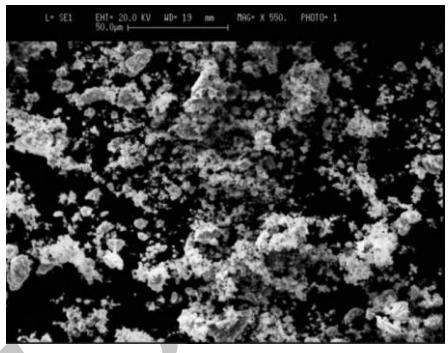
[5] Planetary ball mill
[6] Scaning Electron Microscope
[7] Zoom

Archive of SID

www.SID.ir



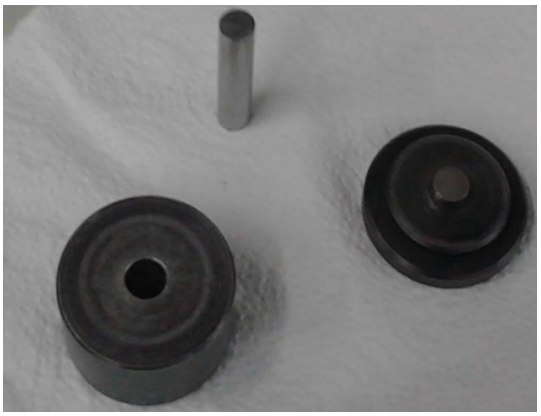
(ب)



(ج)

شکل (۱) عکس میکروسکوپ الکترونی روبشی گرفته شده در حالت های (الف) پودر تیتانیوم خالص با بزرگ‌نمائی ۵۰۰.(ب) پودر تیتانیوم با ۵٪ نانو پودر کاربید سیلیسیوم و بزرگ‌نمائی ۵۵۰.(ج) پودر تیتانیوم با ۱۰٪ نانو پودر کاربید سیلیسیوم و بزرگ‌نمائی ۵۵۰.

بعد از تهیه پودر یکنواخت و همگن، پودر در داخل یک قالب به صورت استاتیکی فشرده شد. برای این منظور از قالبی استفاده شد که سخت‌کاری شده باشد تا در هنگام فشار دچار شکست نشود. قالب مربوطه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲) قالب سخت‌کاری شده برای انجام فشردگی استاتیکی

بعد از مونتاژ و سر هم کردن قالب و روغن کاری دیواره داخلی قالب و نیز سنبه و پیشانی بالایی پله، جهت راحت در آوردن نمونه بعد از اعمال فشار، پودر آماده شده با استفاده از یک قیف به آرامی داخل قالب ریخته شد. سپس با استفاده از یک پرس ۳۰ تنی هیدرولیک سنبه قالب تحت نیروی فشاری قرار می گیرد. نیروی فشاری وارده در سه مرحله و برابر با مقادیر ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن می باشند که به ترتیب با توجه به مساحت مقطع سنبه، متناظر با فشار های ۱/۲۴، ۱/۹۵ ، و ۲/۴۹ گیگا پاسکال می باشند.

پس از این‌که قطعات به روش استاتیکی فشرده شدند برای ایجاد ساختار یکپارچه، نمونه هاباید تحت عمل زینترینگ قرار گیرند. با توجه به این‌که عمل زینترینگ در دمایی برابر با۷۰ تا۸۰ درصد نقطه ذوب فلز پایه انجام می‌شود[۳و۷] و نقطه‌ی ذوب تیتانیوم ۱۶۶۵ درجه سانتی‌گراد می باشد، دمای کوره را روی ۱۲۰۰ درجه تنظیم کرده و به منظور جلوگیری از اکسید شدن قطعات گاز آرگون به داخل کوره تزریق شد. پس از رسیدن نمونه ها به دمای مورد نظر قطعات در مدت زمان یک ساعت در دمای مذکور نگه داشته شده و بعد از آن اجازه داده شد تا دمای کوره به آرامی دمای محیط برسد. بعد از رسیدن دمای کوره به دمای محیط، نمونه‌ها از داخل کوره خارج شدند. بنابراین در نهایت، تعداد نه نمونه قرص شکل از این ماده به قطر ۱۰ میلیمترو شعاع ۱۵میلیمتر و در سه درصد مختلف و سه فشار متفاوت به دست آمدند. در این مرحله، برای استخراج خواص مکانیکی نمونه ها، آزمایش هایی انجام شد که در ادامه توضیح داده شده اند.

۳ – روش انجام تست‌های خواص مکانیکی

در این تحقیق برای استخراج برخی از خواص مکانیکی از قبیل درصد تخلخل، سختی و رفتار فشاری نمونه ها آزمایش هایی انجام شد. همچنین، برای بررسی ریز ساختارها در حالت های مختلف با استفاده از میکروسکوپ روبشی از ساختار میکروسکوپی نمونه ها عکسبرداری شد. روش انجام آزمایش ها در زیر شرح داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۱- اندازه گیری چگالی

یکی از روش های تعیین مقدار چگالی و درصد تراکم، اندازه گیری وزن غوطه وری و تعیین حجم اجسام با استفاده از ترازو می باشد. برای محاسبه‌ی حجم نمونه ها از آب مقطر با خلوص ۹۹/۹٪ استفاده شد. در این حالت با استفاده از غوطه وری نمونه و اندازه گیری وزن نمونه با استفاده از یک ترازوی حساس و متعاقب آن حجم نمونه ها درصد تخلخل و تراکم نمونه ها اندازه گیری شد. درصد تراکم و تخلخل اندازه گیری شده نمونه ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

۳-۲- تعیین استحکام فشاری

برای انجام تست فشار از دستگاه تست سه‌کاره مدل کوپا رومیزی که برای تست کشش، فشار و خمش مورد استفاده قرار می گیرد است استفاده شد. در شکل (۳) این دستگاه نشان داده شده است. در این دستگاه نمونه توسط دو فک محکم نگه داشته شده و سپس فک بالایی با حرکت رو به پایین خود نمونه را تحت فشار قرار می دهد. مقادیر نیرو و جابه جایی توسط دستگاه ثبت شده و نمودار تغییرات نیرو و تنش بر حسب جابه جایی رسم می شود.

شکل (۳) دستگاه تست فشار.

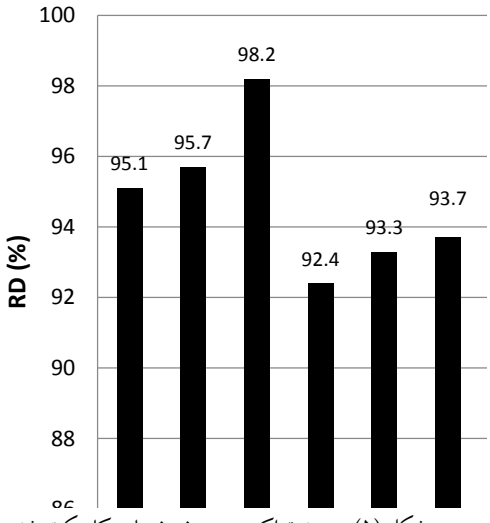
۳-۳- آزمایش سختی

در این تحقیق، برای تعیین سختی سنجی نمونه ها از روش سختی سنجی ویکرز استفاده شد. برای افزایش دقت اندازه گیری نمونه‌های کامپکت شده از پنج نقطه مختلف این تست انجام شد. شکل (۴) مربوط به عکس این دستگاه است. دستگاه با ایجاد نشانه با فشار استاندارد ۱۰ کیلوگرم بر روی نمونه به صورت اتوماتیک سختی نمونه را محاسبه نموده و در نشانگر دیجیتالی خود به معرض نمایش قرار می دهد.

شکل (۴) دستگاه تست سختی.

٤- بحث و نتایج آزمایشی

نتایج حاصل از آزمایش چگالی نمونه‌های کامپکت شده در جدول (۱) نشان داده شده است. همچنین، درصد تراکم در شکل (۵) آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش فشار کامپکت تراکم کاهش یافته و با افزایش درصد تقویت کننده تراکم افزایش می‌یابد.



شکل (۵) درصد تراکم همه‌ی نمونه‌های کامپکت شده

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۱) چگالی نمونه‌ها با درصدهای مختلف کاربید سیلیسیم و تحت فشارهای متفاوت.

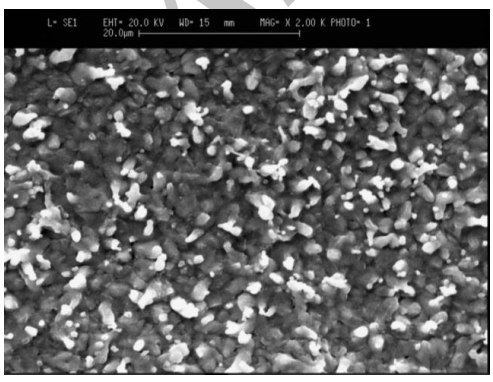
درصد SiC	فشار GPa	جرم g	حجم cm^3	چگالی g/cm^3	تراکم %	تخلخل %
۰	۱/۲۴	۲/۴۸	۰/۵۴	۴/۵۸	۹۵/۱	۴/۹
۰	۱/۹۵	۲/۴۰	۰/۵۱	۴/۷۰	۹۵/۷	۴/۳
۰	۲/۴۹	۲/۵۱	۰/۵۳	۴/۷۳	۹۸/۲	۱/۸
۵	۱/۲۴	۲/۷۶	۰/۵۷	۴/۸	۹۲/۴	۷/۶
۵	۱/۹۵	۲/۷۷	۰/۵۷	۴/۸۲	۹۳/۳	۶/۷
۵	۲/۴۹	۲/۸۰	۰/۵۷	۴/۸۷	۹۳/۷	۶/۳
۱۰	۱/۲۴	۲/۹۹	۰/۶۲	۴/۸۲	۹۰	۱۰
۱۰	۱/۹۵	۲/۴۳	۰/۴۹	۴/۹۰	۹۱/۸	۸/۲
۱۰	۲/۴۹	۲/۹۰	۰/۵۸	۵	۹۳/۳	۶/۷

با مقایسه‌ی نمودارها و جداول مربوط به چگالی نتایج مهمی به‌دست می آید. درصد تراکم به دست آمده برای نمونه ها نشان دهنده تراکم مطلوب نمونه ها می باشد. برای درصدهای یکسان کاربید سیلیسیم در هر سه مورد با افزایش فشار کامپکت چگالی نیز افزایش می یابد. بنابراین درصد تراکم افزایش و تخلخل کاهش می یابد.

برای فشارهای کامپکت یکسان با افزایش درصد کاربید سیلیسیم چگالی افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که چگالی کاربید سیلیسیم ۳/۲۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب است انتظار می‌رفت با افزایش درصد کاربید سیلیسیم چگالی نیز بیش از این افزایش پیدا کند که نتیجه‌ی عکس این قضیه بود. علت اصلی این امر مربوط به اندازه‌ی کوچک دانه‌های پودر کاربید سیلیسیم می‌باشد و این واقعیت که هر چه اندازه‌ی دانه‌ها ریزتر باشد فشردن آن مشکل‌تر خواهد بود. دلیل دیگر آن این است که ذرات فلزات راحت‌تر به یکدیگر می‌چسبند و جوش می‌خورند اما ذرات سرامیکی کاربید سیلیسیم که اطراف دانه‌های تیتانیوم را احاطه کرده‌اند مانع از تماس کامل بین ذرات تیتانیوم به یکدیگر می‌شوند که این امر نیز در مقدار درصد تخلخل و چگالی نقش اساسی خواهد داشت. همچنین، با مقایسه‌ی نمودارها این نتیجه به‌دست می‌آید که بیشترین مقدار چگالی مربوط به تیتانیوم با ۱۰٪ تقویت کننده‌ی نانو پودر کاربید سیلیسیم با فشار کامپکت ۲/۴۹ گیگا پاسکال بوده و کمترین مقدار آن مربوط به تیتانیوم با ۰٪ تقویت‌کننده‌ی نانو پودر کاربید سیلیسیم با فشار ۱/۲۴ گیگا پاسکال است.

در شکل (۶) تصویر میکروسکوپی نمونه های تولید شده تیتانیوم با درصد های مختلف تقویت‌کننده‌ی کاربید سیلیسیم نشان داده شده است. هدف از گرفتن این عکس ها مشاهده‌ی سطح دانه و مقایسه‌ی بین سطح دانه‌ها برای درصدهای مختلف تقویت کننده‌ی کاربید سیلیسیم می باشد.

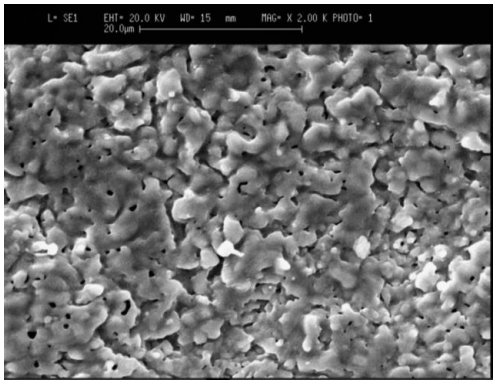
با مقایسه‌ی تصاویر گرفته شده از نمونه‌ها دیده می شود مرزبندی دانه‌ها در برخی موارد مشخص بوده و با توجه به‌اینکه فشار کامپکت بالاست تخلخل‌ها بسیار کم بوده و در برخی موارد یافتن قسمت‌های متخلخل برای گرفتن عکس توسط میکروسکوپ الکترونی به دشواری انجام می شود. این امر نشان دهنده یکپارچگی مناسب نمونه ها می باشد.
با افزایش فشار کامپکت در نمونه‌هایی با درصد تقویت‌کننده‌ی یکسان نظم مرز دانه‌ها بیشتر شده و تخلخل کمتر به چشم می‌خورد. همچنین، با افزایش درصد تقویت‌کننده‌ی نانو پودر کاربید سیلیسیم برای نمونه‌هایی که تحت فشار یکسان کامپکت شده‌اند تخلخل کاهش می‌یابد و تعداد حفره های بیش‌تری مشاهده می شود. این قسمت‌ها یا چاله‌ها محل قرارگیری نانو پودرهای کاربید سیلیسیم هستند.



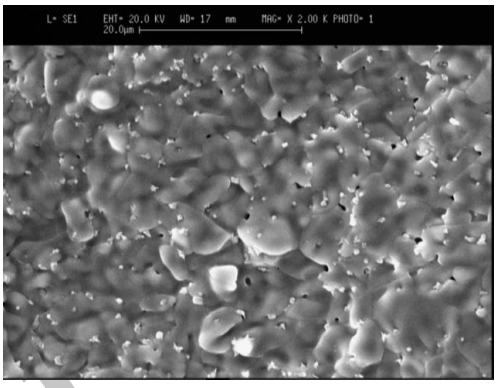
(الف)

Archive of SID

www.SID.ir



(ب)

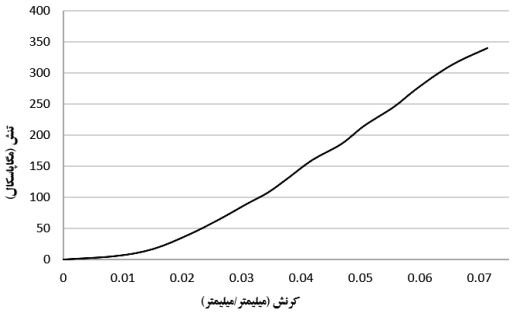


(ج)

شکل (۶) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) تیتانیوم با ۰٪ تقویت‌کننده‌ی کاربید سیلیسیم و با بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰.(ب) تیتانیوم با ۵٪ تقویت‌کننده‌ی کاربید سیلیسیم و با بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰.(ج) تیتانیوم با ۱۰٪ تقویت‌کننده‌ی کاربید سیلیسیم و با بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰.

در تصاویر با بزرگ‌نمایی بالا مشاهده می‌شود که شکل دانه‌های پودر تیتانیوم دارای سطحی متخلخل هستند. دانه‌های نانو پودر کاربید سیلیسیم زیر میکروسکوپ در مقایسه با دانه‌های تیتانیوم روشن‌تر دیده می‌شود. با افزودن نانو پودر کاربید سیلیسیم به تیتانیوم حفره های موجود بر روی سطح دانه‌ها با نانو پودر پر می‌شوند و در تصاویر میکروسکوپی قسمت‌های درخشان در سطح دانه‌ها این نانو پودرها را نشان می‌دهند.

در تست فشار نمونه ها، همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود بیشترین فشار تحملی در نمونه با ۵٪ تقویت‌کننده کاربید سیلیسیم با فشار کامپکت ۲/۴۹ گیگا پاسکال روی داده است.



شکل (۷) منحنی فشار- جابه جایی مربوط به تیتانیوم با ۱۰٪ تقویت‌کننده کاربید سیلیسیم کامپکت شده با فشار ۲/۴۹ گیگا پاسکال

همچنین، مقادیر فشار تحملی و تنش فشاری شکست برای نمونه های مختلف در جدول (۲) لیست شده است.

جدول (۲) تنش فشاری شکست برای نمونه ها ی مختلف

درصد کاربید سیلیسیم	فشار کامپکت (گیگاپاسکال)	تنش فشاری شکست(مگاپاسکال)
۰	۱/۲۴	۱۰
	۱/۹۵	۷
	۲/۴۹	۲۷۰
۵	۱/۲۴	۲۲۸
	۱/۹۵	۱۵۰
	۲/۴۹	۱۱۰
۱۰	۱/۲۴	۱۸۵
	۱/۹۵	۷
	۲/۴۹	۱/۵

با مقایسه‌ی نمودارها و مشاهده‌ی تفاوت بین آن‌ها برای فشارهای مختلف دیده می شود، در تیتانیوم خالصف با افزایش فشار کامپکت تنش شکست افزایش می یابد و بنابراین رفتار منطقی از خود نشان می دهد. اما با اضافه شدن پودر نانو رفتار فشاری نمونه دچار تغییر می گردد. در کل با افزایش درصد نانو پودر، تحمل فشاری مقداری کاهش می یابد که علت آن نیز این است که با افزایش حفره ها ساختار تراکمی ماده یکپارچگی خود را مقداری از دست می دهد. در حقیقت افزودن نانو پودر کاربید سیلیسیم خواص

Archive of SID

www.SID.ir

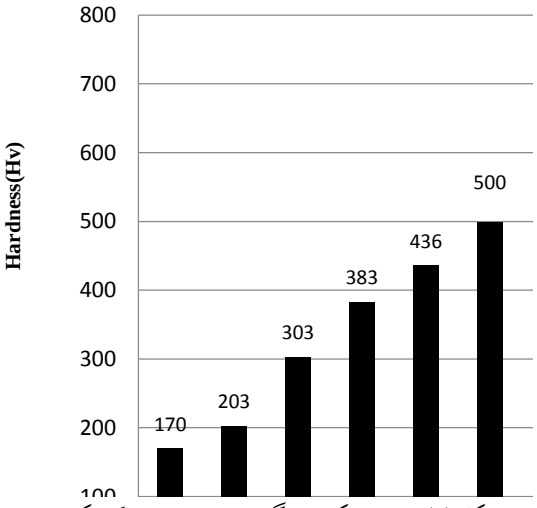
فشاری را بهبود نبخشیده و مقداری کاهش داده است. البته این کاهش استحکام فشاری با افزایش چشمگیر سختی توجیه دارد. همچنین، با افزایش فشار کامپکت در درصد های مشابه از نانو پودر، استحکام فشاری کاهش یافته است. این امر نشان دهنده این است که در این حالت ها نمونه ها استحکام فشاری قابل قبولی از خود نشان نداده است. دیده می شود در درصد نانو پودر ۱۰ درصد خواص فشاری افت چشمگیری نموده است. چنین رفتاری در نانو کامپوزیت های پایه فلزی دور از انتظار نیست. خواص فشاری تا درصد های خاصی افزایش یافته و بعد از آن کاهش یافته است. علت این امر نیز این است که با افزایش نانو پودر ها از حد معین (حدود ۵ درصد) نانو پودر ها یکپارچگی ماده را مختل نموده و از چسبیدن پودر فلز پایه به یکدیگر ممانعت به عمل می آورند. این امر در نتایج جدول (۲) به وضوح دیده می شود.

نتایج حاصل از آزمایش سختی نمونه‌های کامپکت شده در جدول (۳) گزارش شده است. همچنین، سختی میانگین ۵ نقطه از هر نمونه به عنوان سختی آن در نظر گرفته شده و در شکل (۸) نشان داده شده است.

جدول (۳) نتایج تست سختی ویکرز ۱۰ کیلوگرم انجام شده روی پنج نقطه از نمونه‌های کامپکت شده به روش استاتیکی.

درصد SiC ٪	فشار Gpa	سختی ۱ HV	سختی ۲ HV	سختی ۳ HV	سختی ٤ HV	سختی ٥ HV	میانگین HV
۰	٤/٤٢	١٥٨	١٦٢	١٦٧	١٧٧	١٨٦	**١٧٠**
۰	٦/٢٦	١٩١	١٩٥	٢٠١	٢٠٩	٢١٩	**٢٠٣**
۰	٧/٦٦	٢٩٢	٢٩٦	٣٠٠	٣٠٨	٣١٩	**٣٠٣**
٥	٤/٤٢	٣٧٣	٣٧٩	٣٨٣	٣٨٧	٣٩٣	**٣٨٣**
٥	٦/٢٦	٤٢٣	٤٢٩	٤٣٥	٤٤٣	٤٥٠	**٤٣٦**
٥	٧/٦٦	٤٨٩	٤٩٥	٥٠١	٥٠٥	٥١٠	**٥٠٠**
١٠	٤/٤٢	٤٩١	٤٩٤	٥٠٢	٥٠٦	٥٠٧	**٥٠٠**
١٠	٦/٢٦	٥٦٤	٥٧٠	٥٧٩	٥٨٨	٥٩٩	**٥٨٠**
١٠	٧/٦٦	٦٦٧	٦٧٢	٦٧٩	٦٨٧	٧٠٠	**٦٨١**

نمودار شکل(۸) نشان می‌دهد که با افزایش فشار، سختی نمونه‌ها افزایش می‌یابند و با افزایش درصد تقویت‌کننده‌ی نانو پودر کاربید سیلیسیم افزایش سختی بیش‌تری به‌دست می‌آید.



شکل (۸) سختی ویکرز میانگین تمام نمونه های کامپکت شده.

با مقایسه‌ی نتایج حاصل از آزمایش‌های سختی و نمودارهای مربوطه دیده می شود سختی نمونه‌ها با درصد تقویت‌کننده‌ی یکسان، و افزایش فشار کامپکت افزایش می‌یابند. همچنین، با افزایش درصد تقویت‌کننده‌ی نانو پودر کاربید سیلیسیم سختی نمونه‌های کامپکت شده تحت فشارهای یکسان افزایش چشم‌گیری کرده‌اند. درنمونه تیتانیوم با ۱۰٪ تقویت‌کننده کاربید سیلیسیم با فشار کامپکت ۲/۴۹ گیگا پاسکال بیشترین سختی و نمونه تیتانیوم با ۰٪ تقویت‌کننده کاربید سیلیسیم با فشار کامپکت ۱/۲۴ گیگا پاسکال کمترین سختی اندازه گیری شده اند.

۵- نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج به دست آمده در این تحقیق دیده می شود با استفاده از روش متالورژی پودرچگالی نمونه ها به ۹۸درصد رسیده است که نشان دهنده تولید مطلوب نمونه می باشد. رسیدن به درصد تخلخل حدود ۲ درصد با استفاده از روش متالورژی پودر مطلوب می باشد چرا که یکی از مشکلات

Archive of SID

www.SID.ir

این روش افزایش تخلخل می باشد. بنابراین، می توان صحت و درستی عملیات انجام شده را تایید نمود. چگالی نمونه‌ها با افزایش فشار کامپکت افزایش یافته اما با افزایش درصد تقویت‌کننده‌ی کاربید سیلیسیم کاهش می‌یابد. بررسی نمونه‌های کامپکت شده زیر میکروسکوپ الکترونی روبشی مرزبندی دانه‌ها را مشخص می‌کند. با مقایسه‌ی تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ ملاحظه می‌شود افزایش سرعت و فشار موجب زیاد شدن تراکم نمونه‌ها می‌شود. با مقایسه‌ی نمودارهای تنش-کرنش فشاری ملاحظه می‌شود در بهترین حالت ممکن (۵ درصد نانو کاربید سیلیسیم و فشار ۱/۲۴ گیگا پاسکال) تنش شکست به مقدار ۲۲۷ مگاپاسکال رسیده است که البته نسبت به حالت خالص مقداری کاهش یافته است اما با افزایش بیشتر نانو پودر، استحکام فشاری کاهش می یابد. اعداد به دست آمده در حالت خالص برای استحکام فشاری (۲۷۰ مگاپاسکال) و مقایسه آن از مراجع نشان هب نرکه با افزایش سرعت و فشار تنش و کرنش نمونه‌ها افزایش می‌یابند ولی با افزایش نانو پودر کاربید سیلیسیم تنش‌ها و کرنش‌های تسلیم ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابند. با مقایسه‌ی نمودارهای سختی نیز این نتیجه بدست می‌آید که با افزایش سرعت و فشار کامپکت سختی نمونه‌ها افزایش می‌یابند و با افزایش تقویت کننده این افزایش در سختی نمونه‌ها افزایش چشم‌گیری می‌یابند.

٦- فهرست علائم

چگالی(g/cm^3)	ρ
حجم(cm^3)	V
درصد تراکم	RD
سختی (ویکرز)	HV
کاربید سیلیسیم	SiC
میکروسکوپ الکترونی روبشی	SEM

۷- منابع

[1] Smith P.R. and Froes F., Developments in titanium metal matrix composites ,36, 1984, pp. 19-26.

[2] Wan-li G.U., Bulk Al/SiC nanocomposite prepared by ball milling and hot pressing method, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 16, 2006, pp. 398-401.

[3] Moongkhamklang P., Elzey D.M. and H.N. Wadley, Titanium matrix composite lattice structures. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39, 2008, pp. 176-187.

[4] Montealegre Meléndez, I., E. Neubauer, and H. Danninger, Consolidation of titanium matrix composites to maximum density by different hot pressing techniques.06,2007, pp3-6.

[5] Sadeghian Z., et al., Microstructural and mechanical evaluation of Al–TiB2 nanostructured composite fabricated by mechanical alloying. Journal of Alloys and Compounds, 29, 2011, pp. 7758-7763.

[6] Khan D.F., et al., Compaction of Ti–6Al–4V powder using high velocity compaction technique, Materials & Design, 2013, 50(0), pp. 479-483.

[7] Zhang Y., Wang L., ZrO2 solid superacid porous shell/void/TiO2 core particles (ZVT)/polyvinylidene fluoride (PVDF) composite membranes with anti-fouling performance for sewage treatment, Chemical Engineering Journal, 2015, 260, pp. 258-268.

[8] Foganolo J.B., et al., 6061 Al reinforced with zirconium diboride particles processed by conventional powder metallurgy and mechanical alloying. Journal of material science, 2004, 39, pp. 127-132.

[9] Mohammad Sharifi E., Karimzadeh F., Enayati M.H., Fabrication and evaluation of mechanical and tribological properties of boron carbide reinforced aluminum matrix nanocomposites. Materials &amp, 2011, 32, pp.3263-3271.

Archive of SID

www.SID.ir