

۲۷ و ۲۸ آبان ۱۳۹۳
مرکز همایش‌های بین‌المللی شهید بهشتی، تهران
18 - 19 Nov, 2014
Shahid Beheshti Conference Center, Tehran, Iran

www.imatconf.com
info@imatconf.com



iMat
Conference 2014

3rd International Engineering
Materials & Metallurgy Conference

هشتمین همایش مشترک و سومین کنفرانس بین‌المللی مواد مهندسی و متالورژی

(انجمن مهندسی متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران)

شماره گواهی: ۹۳۰۸۳۳۶

گواهی ارائه مقاله

پدروسیله گواهی می‌شود مقاله

بررسی خواص فوم نانو کامپوزیتی مس آلومینا تولید شده به روش متالورژی پودر

نویسنده اول: مینا سبزواری، نویسنده دوم: سید عبدالکریم سجادی، نویسنده سوم: احمد مولودی

در بخش پوستر هشتمین همایش مشترک و سومین کنفرانس بین‌المللی مواد مهندسی و متالورژی

مورخ ۲۷ و ۲۸ آبان ماه سال ۱۳۹۳ پذیرفته شده است.

موفقیت روز افزون شمارا در عرصه‌های علمی و اجرایی کشور عزیزمان آرزو مندیم

دکتر فریاد مالک
دبیر کنفرانس



دکتر امیر عبدالرزاق
دبیر علمی کنفرانس



مقایسه خواص مکانیکی فیلم نوار نازک سرامیک های آلومینای خالص و کامپوزیت آلومینا زیر کونیا تهیه شده به روش ریختهگری نواری
ارائه دهنده: فرید سالاری / دانشگاه صنعتی شاهرود
نویسندگان: محسن قربان، مجتبی قطعی، سید هادی قادری، فرید سالاری

بررسی خواص فوم نانو کامپوزیتی مس / آلومینا تولید شده به روش متالورژی پودر
ارائه دهنده: مینا سبزواری / دانشگاه فردوسی مشهد
نویسندگان: مینا سبزواری، سید عبدالکریم سجادی، احمد مولودی

Effect of Stress Relieving on Impact Toughness and Corrosion Resistance of Arc Welded Joints of A517 Steel

ارائه دهنده: رسول سپهرزاد / دانشگاه آزاد نجف آباد
نویسندگان: رسول سپهرزاد، ابراهیم حشمت دهکردی، علی شفیعی، علیرضا افخمی عقدا

بررسی سینتیک رشد لایه Cu6Sn5 در محل اتصال لحیم بدون سرب Sn-2.5Ag-0.8Cu-0.5Sb در حین پیرسازی بعدی

ارائه دهنده: فرهاد ستاری / دانشگاه صنعتی سهند
نویسندگان: فرهاد ستاری، احد صمدی

بهینه سازی مقدار مس در آلیاژهای لحیم بدون سرب Sn-2.5Ag-0.5Sb-XCu

ارائه دهنده: فرهاد ستاری / دانشگاه صنعتی سهند
نویسندگان: فرهاد ستاری، احد صمدی

بکارگیری روشهای آماری در مدلسازی و تعیین سطوح بهینه پارامترهای تنظیمی در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی (FSW) آلیاژهای آلومینیوم
ارائه دهنده: سید ابوالفضل سجادی / دانشگاه فردوسی مشهد
نویسندگان: فرهاد کلاهان، سید ابوالفضل سجادی،

بررسی خواص فوم نانو کامپوزیتی مس / آلومینا تولید شده به روش متالورژی

پودر

مینا سبزواری^۱

مینا سبزواری^۲، سید عبدالکریم سجادی^۳، احمد مولودی^۴

دانشگاه فردوسی مشهد

Mina.sabzevari@gmail.com

چکیده

در این تحقیق فوم نانو کامپوزیتی زمینه مسی تقویت شده با نانو ذرات آلومینا (Al_2O_3)، با استفاده از عامل فوم ساز کربنات پتاسیم (K_2CO_3) و با به کارگیری روش فوم سازی پودر فشرده تولید شد. پیش ماده که شامل پودر مس و نانو ذرات آلومینا بود به مدت ۴ ساعت آسیا کاری مکانیکی شد و سپس با درصدهای متفاوتی از کربنات پتاسیم مخلوط و با استفاده از پرس سرد تهیه گردید. پیش ماده فشرده شده سپس در دمای تفجوشی ۸۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۸۰ دقیقه و پس از آن در دمای فوم سازی ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۶۰ دقیقه قرار گرفت. در ادامه به منظور بررسی تنش پایا و کرنش چگالش فوم‌های نانو کامپوزیتی تولیدی، با درصدهای تخلخل و چگالی‌های نسبی متفاوت، تحت آزمون فشار قرار گرفتند. همچنین آنالیز حرارتی DTA از پودر کربنات پتاسیم و آنالیز EDS از پودر نانو کامپوزیتی مس / آلومینا و تصویربرداری با میکروسکوپ SEM از نمونه‌ها انجام شد. نتایج مطالعات میکروسکوپی از مورفولوژی حفرات نشان داد فوم‌های تولیدی دارای توزیع و نفوذ سطحی مناسبی از نانو ذرات آلومینا در زمینه مسی هستند و ساختار حفرات نسبتاً همگن و یکنواخت است. همچنین با افزایش چگالی نسبی از ۰/۳۵۸ به ۰/۷۹۵، تنش پایای نمونه‌های تولید شده و قابلیت جذب انرژی به ترتیب از ۱۸ به ۱۱۲/۵ مگا پاسکال و از ۲۰ به ۵۰ ژول افزایش یافت.

واژگان کلیدی: فوم نانو کامپوزیتی مس / آلومینا، روش فوم سازی پودر فشرده، کربنات پتاسیم.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ استاد، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۴ دانشجو دکتری، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

Characterize of nano-composite copper foam produced by powder metallurgy technique

Mina Sabzevari¹

Mina Sabzevari², Seyed Abdolkarm Sajjadi³, Ahmad Moloodi⁴

Ferdowsi University of Mashhad

Mina.sabzevari@gmail.com

Abstract

In this research, nano-composite copper foams reinforced with Al₂O₃ nanoparticles and using K₂CO₃ as foaming agents were produced through powder metallurgy rout. The precursor including powder copper and alumina (Al₂O₃) nanoparticles was mechanical milling for 4 hours, and then it mixed with different percentages of potassium carbonate (K₂CO₃) and was made using a cold press. The precursor is then sintered at a temperature of 850°C for 180 minutes and then at a temperature of 1000°C as foaming temperature for 60 minutes. In the following, compressive test was carried out on foam samples with different porosity percents and relatively densities in order to measuring compressive properties such as steady stress and densification strain. Differential thermal analysis (DTA) on foaming agent powder, Electron diffraction X-ray spectroscopy (EDS) analysis of Cu-Al₂O₃ nano-composite powder and Scanning electron microscopy also performed on samples. The microscopic results revealed appropriate distribution and surface diffusion nanoparticles in copper matrix and homogeneous pores structure. Also the steady stress of samples and the energy absorption capability of samples was increased with increasing relatively density from 0.358 to 0.795 from 18 up to 112.5 MPa and 20 to 50 J, respectively.

Keywords: nano-composite Cu-Al₂O₃ foam, powder metallurgy, potassium carbonate.

¹ Master student, Department of Materials Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

² Master student, Department of Materials Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

³ Proffesor of Ferdowsi University of Mashhad, Department of Materials Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

⁴ Ph.D. student, Department of Materials Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به فوم‌های فلزی به عنوان یک ساختار سبک با تخلخل بالا و کنترل شده که خواص بی نظیری از جمله قابلیت جذب انرژی بالا از خود نشان می‌دهد در صنایع مختلف نظیر خودروسازی، هوافضا، صنایع نظامی، صنایع حرارتی و صوتی شده است. این مواد زیرمجموعه‌ای از مواد پیشرفته هستند و روش‌های تولید آن‌ها بسیار متنوع است [۱-۳]. در این میان یکی از روش‌های پرکاربرد در ساخت فوم‌های فلزی روش متالورژی پودر است که بر مبنای استفاده از پودر فلزات بوده و قابلیت کنترل اندازه، شکل و پراکندگی حفرات را دارد [۴]. از دیگر مزایای این روش می‌توان به قابلیت تولید فوم‌های کامپوزیتی و یا آلیاژی، انعطاف در انتخاب فلز، نزدیک بودن به شکل نهایی و عدم نیاز به افزودن ذرات پایدار کننده اشاره نمود [۵]. در این روش ابتدا پودر فلزی با پودر عامل فوم ساز مخلوط شده و سپس این مخلوط تحت پرس فشرده می‌شود. نام این محصول میانی را می‌توان فشردان پودری گذاشت [۶]. در نهایت در عملیات حرارتی تفجوشی نمونه به استحکام مورد نظر می‌رسد. در بعضی موارد، عامل فوم ساز حین عملیات تفجوشی تجزیه شده و خارج می‌شود [۷].

فوم مس به دلیل داشتن انتقال حرارت بسیار عالی تا دماهای بالا و نقطه ذوب بالا، یکی از پرکاربردترین نوع فوم‌های فلزی در زمینه انتقال حرارت است. به طور مثال برای ساخت مبردهای حرارتی آینه‌های لیزری از این فوم استفاده می‌شود. ناکاجیما و همکارانش در سال ۲۰۰۱ میلادی فوم مسی را با استفاده از تشکیل حباب هیدروژن هنگام انجماد مذاب تولید و خواص آن را بررسی کردند [۸]. اخیراً ژانگ و وانگ تحقیقات گسترده‌ای را بر روی خواص فوم‌های مس انجام داده‌اند و روش حذف کربنات تفجوشی شده^۱ (LCS) را برای تولید فوم مسی با استفاده از عامل فوم ساز کربنات پتاسیم (K_2CO_3) توسعه داده‌اند [۹-۱۱]. اندازه سلول فوم‌ها در این روش در محدوده ۵۰۰-۱۰۰ میکرومتر قرار دارد [۱۲].

از طرف دیگر به علت عدم استحکام در دمای بالا و مقاومت به سایش پایین مس خالص معمولاً از کامپوزیت‌های زمینه مسی با ذرات تقویت کننده اکسیدی استفاده می‌شود [۱۳]. یکی از پرکاربردترین نوع این کامپوزیت‌ها، کامپوزیت مس-آلومینا است. این نوع کامپوزیت خاصیت هدایت الکتریکی و حرارتی مطلوب مس و استحکام بالای آلومینا را به صورت همزمان دارا است. این نوع کامپوزیت در تولید الکترودهای جوش مقاومتی و راکتورهای آزمایشگاهی هسته‌ای پیشنهاد و استفاده شده است [۱۴ و ۱۵]. علاوه بر این، اضافه کردن ذرات سرامیکی به منظور تقویت استحکام ماده، منجر به کاهش نسبتاً شدید انعطاف پذیری می‌شود. از این رو هدف اصلی از به کار بردن نانو ذرات به عنوان فاز تقویت کننده، استحکام بخشی زمینه فلزی همزمان با حفظ انعطاف پذیری است. به این پیش ماده، نانو کامپوزیت زمینه فلزی^۲ (MMNC) گفته می‌شود [۱۶ و ۱۷].

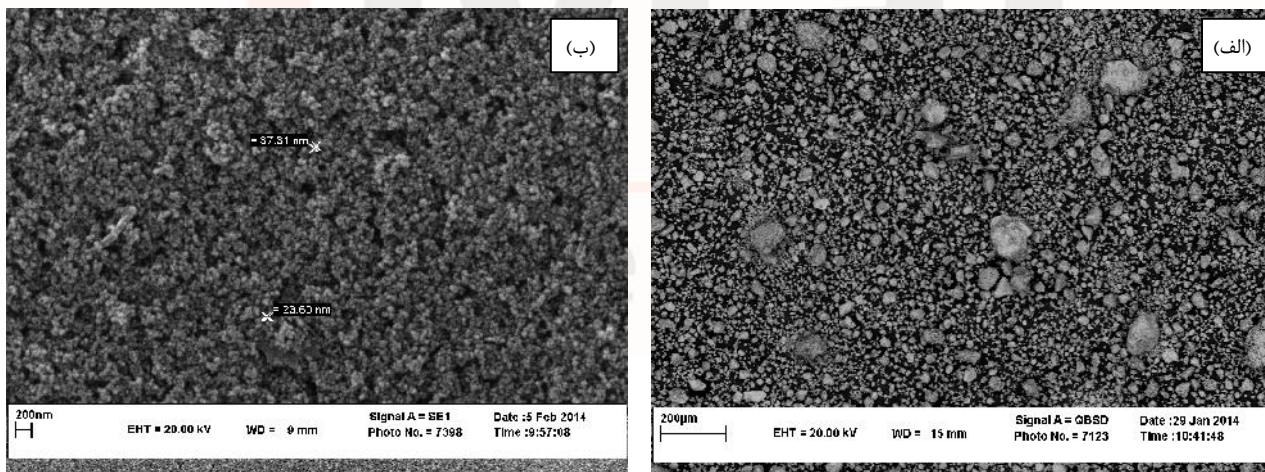
¹ Lost Carbonate Sintering² Metal matrix nano-composite

در تحقیق حاضر از روش آسیاکاری مکانیکی برای نفوذ سطحی و پراکندگی یکنواخت نانو ذرات در زمینه فلزی استفاده شد که روشی مناسب برای پخش یکنواخت نانو ذرات و تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی است [۱۸ و ۱۹]. سپس از این مخلوط پودری برای ساخت فوم نانو کامپوزیتی مس- آلومینا استفاده شد.

تا کنون تحقیق جامعی در جهت تولید فوم‌های نانو کامپوزیتی تقویت‌شده با نانو ذرات برمبنای روش‌های متالورژی پودر صورت نگرفته است. از این رو هدف از انجام این تحقیق تولید فوم نانو کامپوزیتی با استفاده از نانو ذرات آلومینا با استفاده از روش متالورژی پودر و مقایسه و بررسی ویژگی این نوع از فوم‌ها است.

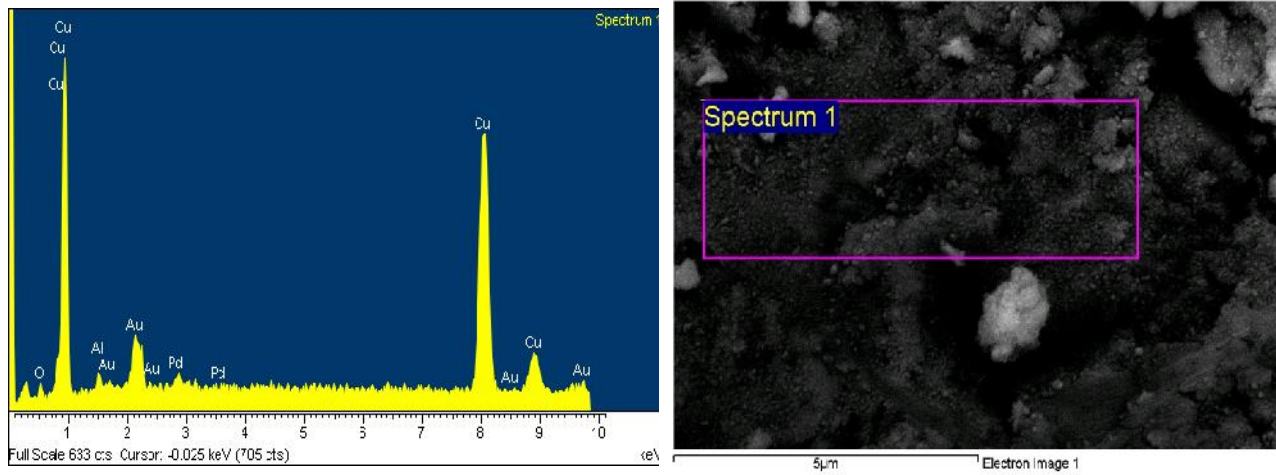
مواد و روش تحقیق

پودر مس با میانگین اندازه ذرات ۱۰۰ میکرومتر و نانو ذرات آلومینا با میانگین اندازه ذرات ۸۰ تا ۱۰۰ نانومتر پس از ۴ ساعت آسیاکاری مکانیکی با نسبت گلوله به پودر ۱:۱۰، به عنوان مواد اولیه نانو کامپوزیتی انتخاب شدند. مشخصات این پودرها و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. تصاویر SEM پودر های (الف) مس (ب) نانو ذرات آلومینا.

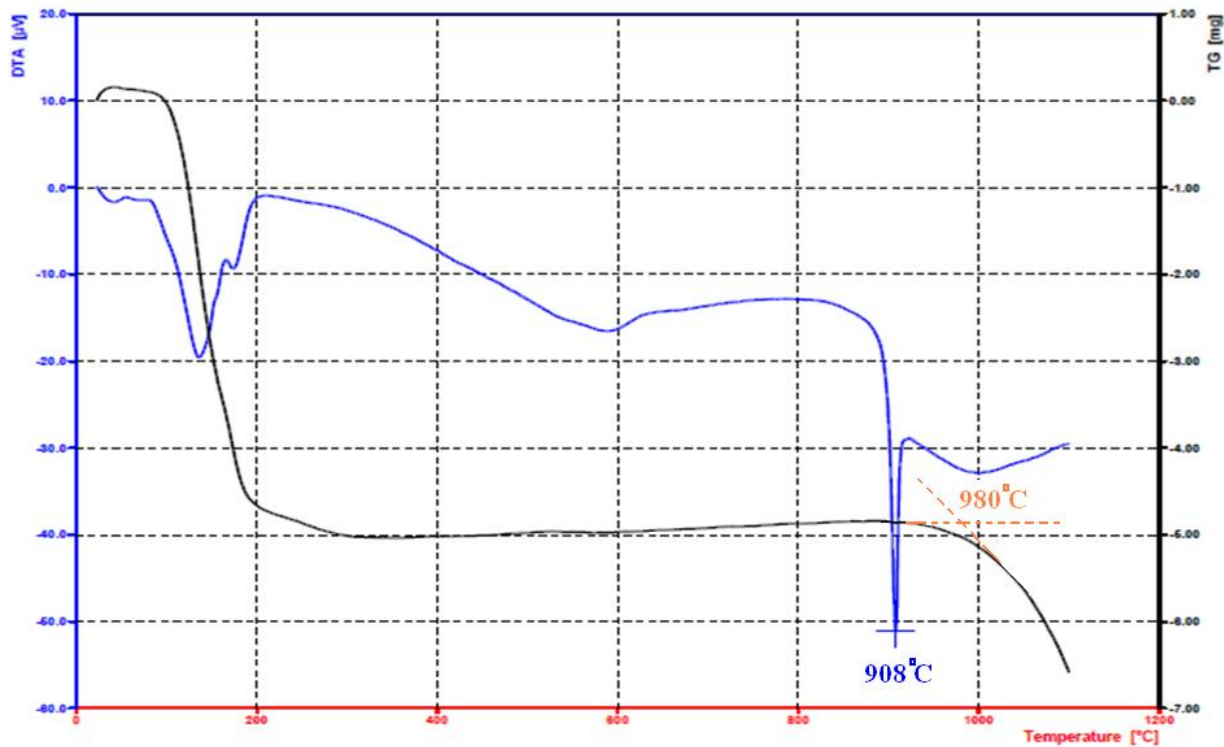
برای انتخاب یک تقویت‌کننده مناسب برای نانو کامپوزیت تقویت‌شده با نانو ذرات فاکتورهایی از قبیل واکنش‌پذیری شیمیایی تا دماهای بالا بایستی در نظر گرفته شوند [۱۳]. براین اساس آلومینا به دلیل قابلیت استحکام مطلوب تا دماهای بالا به عنوان ماده تقویت‌کننده استفاده شد. تصویر SEM و آنالیز EDS این پودر (شکل ۲) پس از آسیاکاری نیز حاکی از عدم تشکیل فاز میانی طی فرایند و پراکندگی و نفوذ سطحی مطلوب نانو ذرات در زمینه مس بود. این نتایج نشان دهنده کافی بودن انرژی و مدت زمان آسیاکاری است.



شکل ۲. تصویر SEM و نتیجه آنالیز EDS پودر کامپوزیتی مس- آلومینا.

برای تعیین درصد وزنی مناسب افزودن نانو ذرات آلومینا به پودر مس، ۴ درصد متفاوت ۰/۵، ۱، ۲ و ۳ انتخاب گردید. پس از آسیاکاری مکانیکی، نمونه‌ها تحت فشار ۲۵۰ مگاپاسکال پرس و در دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۸۰ دقیقه تفجوشی شدند. در نهایت سطح مقطع آنها با آزمون ریزسختی مورد بررسی قرار گرفت.

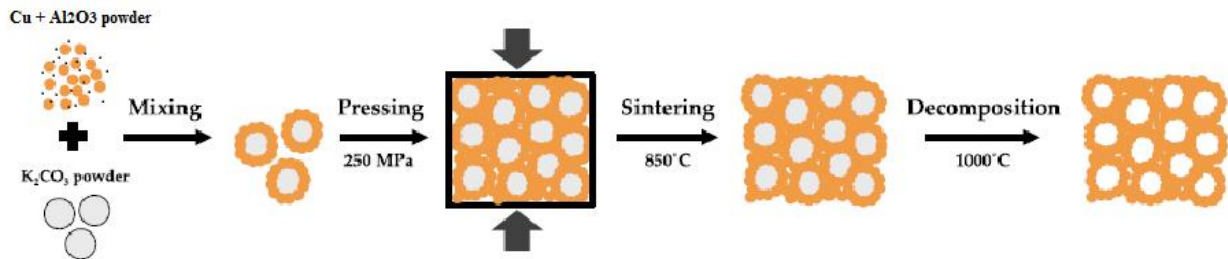
در این تحقیق از پودر کربنات پتاسیم (K_2CO_3) با میانگین اندازه ذرات ۵۰۰ میکرومتر به عنوان عامل فوم ساز استفاده شد. به منظور تعیین محدوده دمایی شروع و پایان تجزیه کربنات کلسیم از آزمون DTA تحت اتمسفر هوا و با نرخ گرمایش ۱۰ C/min استفاده گردید که منحنی مربوط به آن در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. نتیجه آنالیز حرارتی TGA و DTA پودر کربنات پتاسیم مورد استفاده به عنوان عامل فوم ساز.

همانطور که در این نمودار مشخص است، دمای ذوب کربنات پتاسیم حدود ۹۰۸ درجه سانتیگراد است و از دمای حدود ۹۸۰ درجه سانتیگراد تجزیه آغاز می‌شود. بنابراین طبق این نتایج به منظور خروج کامل و راحت‌تر عامل فوم ساز، دمای فوم‌سازی باید بالاتر از این دما انتخاب شود.

برای تولید محصول فومی، ابتدا پودر کامپوزیتی مس-آلومینا و کربنات پتاسیم با نسبت‌های ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد وزنی مخلوط شده و سپس تحت پرس سرد به وسیله سنبه - ماتریس فولادی با قطر ۲۰ میلی‌متر تحت فشار ۲۵۰ مگاپاسکال قرار گرفتند. پیش ماده به دست آمده در یک لوله فولادی قرار داده شد و دو طرف لوله با مقادیر زغال پوشیده و کاملاً بسته شد. پس از آن پیش ماده‌های فوق در دمای تفجوشی ۸۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۸۰ دقیقه و سپس در دمای فوم‌سازی ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ دقیقه قرار گرفتند. در انتها فوم تولیدشده از کوره خارج و در اتمسفر هوا خنک شد. شکل ۴ شماتیک روش تولید را نشان می‌دهد.



شکل ۴. شماتیک روش متالورژی پودر مورد استفاده برای تولید فوم نانو کامپوزیتی مس - آلومینا

همچنین در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر افزودن نانو ذرات، یک نمونه فوم مسی معمولی نیز با شرایط تولید یکسان با نمونه فوم نانو کامپوزیت مس - ۲٪ آلومینا با درصد تخلخل (۵۰٪) تولید گردید. در جدول ۱ شرایط مختلف تولید نمونه‌های مورد بررسی آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات پارامترهای مورد بررسی در نمونه‌های تولیدی

نمونه	درصد وزنی ذرات تقویت کننده (% Al ₂ O ₃)	درصد وزنی عامل فوم ساز (%K ₂ CO ₃)
۱	-	۵۰٪ وزنی
۲	۰/۵٪	-
۳	۱٪	-
۴	۲٪	-
۵	۳٪	-
۶	۲٪	۱۵٪ وزنی
۷	۲٪	۲۰٪ وزنی
۸	۲٪	۳۰٪ وزنی
۹	۲٪	۴۰٪ وزنی
۱۰	۲٪	۵۰٪ وزنی

برای بررسی خواص مکانیکی فوم‌های تولیدی از آزمون فشار با استفاده از دستگاه ZWICK(Z250) استفاده گردید. نرخ کرنش طبق استاندارد JIS H 7902 ژاپن، $10^{-3} S^{-1}$ تنظیم شد [۲۰]. مقدار تنش پایا نیز بر اساس همین استاندارد، در محدوده کرنش ۲۰٪ تا ۳۰٪ محاسبه شد. کرنش چگالش با توجه به استاندارد DIN 50134 آلمان، در کرنش مطابق با ۱/۳ برابر تنش پایا محاسبه گردید.

همچنین مقدار جذب انرژی برای نمونه‌های فوم مسی نانو کامپوزیتی تولیدشده با محاسبه سطح زیر منحنی تنش- کرنش طبق استاندارد ژاپنی (JIS H 7902) محاسبه شد [۲۰].

به منظور مشاهده ساختار سلولی و توزیع نانو ذرات آلومینا و ساختار حفرات، بررسی‌های میکروسکوپی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی LEO 1450VP(35kV) و میکروسکوپ نوری Olympus انجام گرفت. برای بررسی اندازه حفرات و درصد تخلخل سطحی نمونه‌ها از نرم‌افزار پردازش تصویر MIP استفاده شد. چگالی نسبی و درصد تخلخل نمونه‌های تولیدشده با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند.

$$\text{درصد تخلخل} = [1 - (\rho_s / \rho)] \times 100 \quad (۱)$$

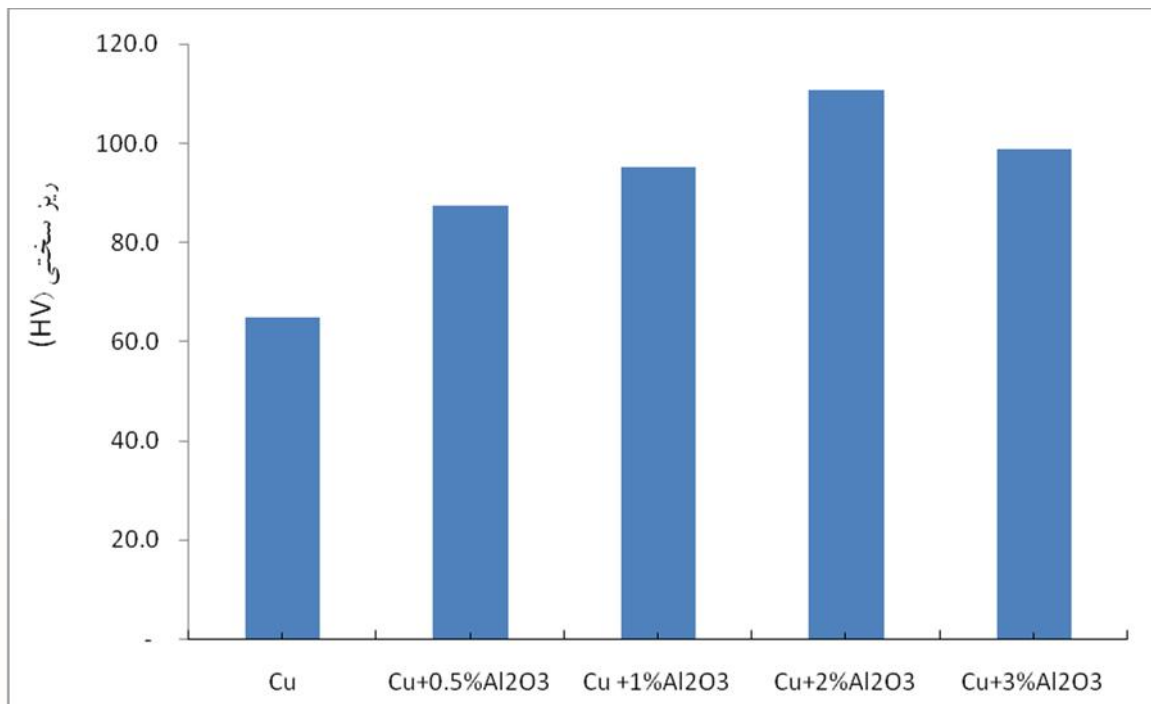
$$\text{چگالی نسبی} = \rho_s / \rho \quad (۲)$$

در این رابطه‌ها ρ_f چگالی فوم نانو کامپوزیتی مس- آلومینا و ρ_s چگالی تئوری نانو کامپوزیت مس - آلومینا است.

نتایج و بحث

بررسی درصد ذرات پایدارکننده

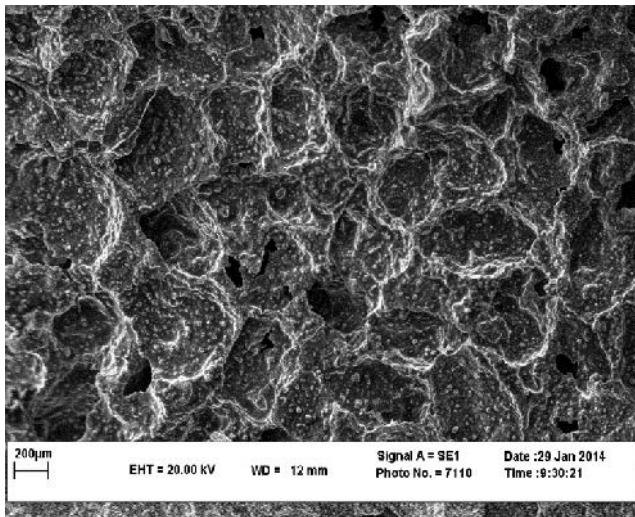
شکل ۵ نتایج به دست آمده از آزمون میکرو سختی نمونه‌های نانو کامپوزیتی تهیه شده برای فرایند فوم سازی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش نانو ذرات اکسید آلومینیوم تا ۲ درصد وزنی، سختی افزایش می‌یابد. این افزایش سختی ناشی از حضور نانو ذرات در زمینه مس می‌باشد. نانو ذرات آلومینا مانند سایر ذرات سرامیکی که به عنوان فاز تقویت کننده استفاده می‌شوند، به خاطر اختلاف ثابت انبساط حرارتی که با زمینه فلزی دارند، در مرحله سرد شدن تا دمای محیط، چگالی بالایی از نابعایی‌ها را در زمینه به وجود می‌آورند. کرنش‌های عدم انطباقی به وجود آمده در فصل مشترک نانو ذرات و زمینه به عنوان مانعی در برابر حرکت نابعایی‌ها عمل کرده که نتیجه آن افزایش سختی نانو کامپوزیت حاصله، خواهد بود [۲۱]. در نمونه نانو کامپوزیتی ساخته شده با ۳ درصد وزنی نانو ذرات، سختی نسبت به نمونه تقویت شده با ۲ درصد وزنی، کاهش یافته است. علت این کاهش روند سختی با وجود افزایش درصد وزنی نانو ذرات آلومینا ممکن است به علت خوشه‌ای شدن و عدم پراکندگی یکنواخت نانو ذرات در زمینه، طی فرایند آسیاکاری باشد. واکنش ذرات با یکدیگر و خوشه‌ای شدن آنها در بخش‌هایی از زمینه منجر به کاهش درصد نانو ذرات در قسمت‌های دیگر و نتیجتاً کاهش سختی نانو کامپوزیت می‌شود [۲۲-۲۳]. از این رو در ادامه برای فوم‌سازی از ۲ درصد وزنی نانو ذرات اکسید آلومینیوم به عنوان فاز تقویت کننده استفاده شد.



شکل ۵. نتایج آزمون ریزسختی نانو کامپوزیتهای مس - آلومینا با درصد های مختلف وزنی از آلومینا.

بررسی مورفولوژی حفرات

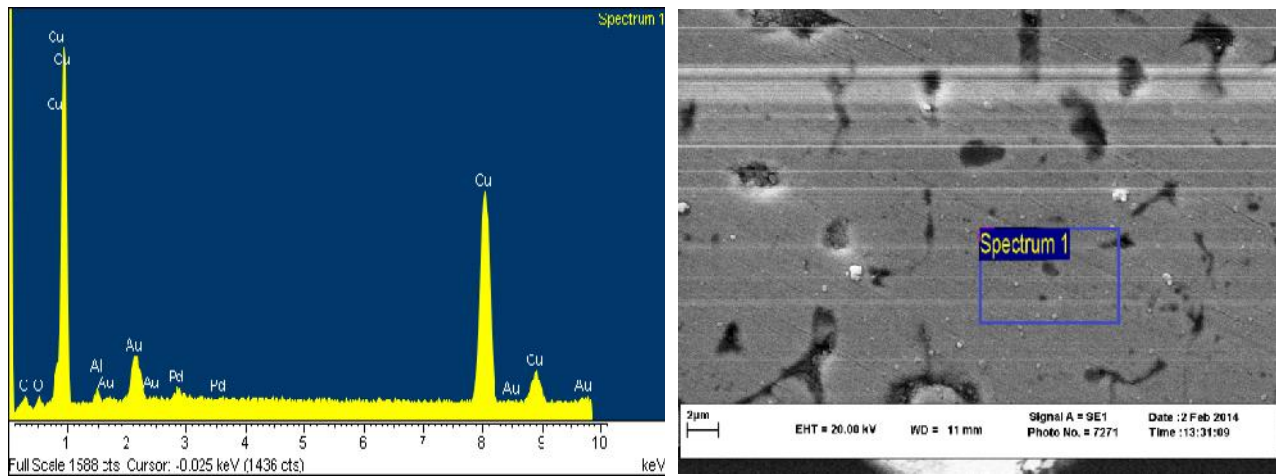
شکل ۶ نمونه‌هایی از فوم تولیدی و تصویر میکروسکوپ الکترونی روشی نمونه‌های فوم نانو کامپوزیت مس - آلومینا (درصد تخلخل ۵۰٪) را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، ساختار حفرات نسبتاً همگن بوده و میانگین اندازه حفرات ۱۰۰-۴۰۰ میکرومتر است. همچنین اکثر حفرات از نوع تخلخل بسته بوده و حفرات به هم راه ندارند. اندازه حفرات در روش متالورژی پودر با توجه به اندازه عامل فوم ساز (کربنات پتاسیم) تعیین می‌شود. در این تحقیق نیز قطر حفرات در همان محدوده ابعاد پودر کربنات پتاسیم اولیه بدست آمد. همچنین با توجه به پائین بودن درصد تخلخل، همانطور که در تحقیقات قبلی نیز به آن اشاره شده است [۴ و ۲۴]، نوع تخلخل بسته است. هنگامی که درصد پودر فلز به پودر عامل فوم ساز از حدود ۵۵٪ بیشتر می‌شود (درصدهای تخلخل زیر ۵۵٪)، با توجه به ریزتر بودن پودر فلز نسبت به پودر عامل فوم ساز، تقریباً یک لایه پیوسته از پودر فلز اطراف پودر عامل فوم ساز را حین مخلوط کردن می‌پوشاند. در ادامه‌ی فرایند تولید (پرس و تف جوشی)، این پوسته سخت شده و تبدیل به یک لایه پیوسته می‌شود. در نتیجه محصول، فوم تخلخل بسته می‌شود. در درصدهای بالاتر از پودر عامل فوم ساز نسبت به پودر فلز، با توجه به کم شدن نسبت پودر فلز به عامل فوم ساز، قابلیت شکل‌گیری این لایه پیوسته نیست و بنابراین در عملیات پرس پودرهای عامل فوم ساز به هم رسیده و با هم در تماس هستند و بنابراین حین خروج در مرحله تفجوشی حفرات به هم راه خواهند داشت و محصول فوم تخلخل باز خواهد شد.



شکل ۶. تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی فوم نانو کامپوزیتی مس- آلومینا.

بررسی اثر ذرات پایدارکننده

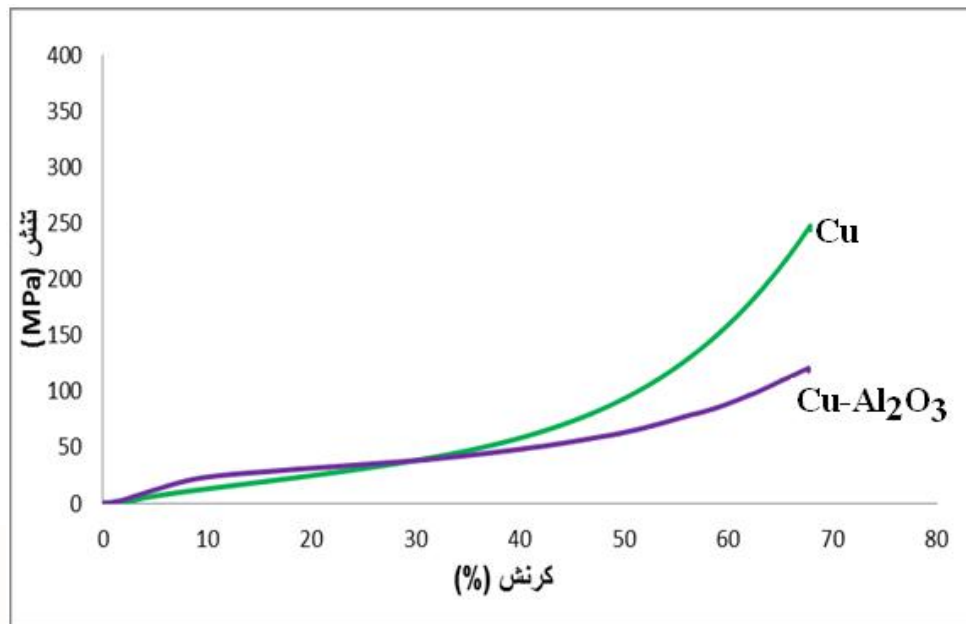
تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داده شده در شکل ۷ که از جداره سلول نمونه فوم نانو کامپوزیتی (با درصد تخلخل ۶۴/۲) گرفته شده است، نفوذ مناسب و تشکیل زمینه پیوسته در فرایند تفجوشی را نشان می‌دهد. نفوذ کامل پودرهای فلزی نشان دهنده دما و زمان مناسب تفجوشی است که در یک اتمسفر غیر اکسیدی انجام شده است. همچنین با مشاهده این تصویر مشخص می‌شود که یک پراکندگی نسبتاً یکنواخت از نانو ذرات آلومینا (نقاط سفید نشان داده شده در تصویر) در زمینه فلزی مس اتفاق افتاده است. البته در برخی نقاط مقداری کلوخه‌ای شدن نیز مشاهده می‌شود که در مقیاس نانو اجتناب ناپذیر است. این یکنواختی در پراکندگی نانو ذرات در زمینه مسی ناشی از اثر آسیاکاری مکانیکی و انرژی مناسب در نسبت مناسب گلوله به پودر است که از کلوخه‌ای شدن ذرات در زمینه جلوگیری می‌کند. همچنین آنالیز EDS گرفته شده از سطح نمونه، شباهت زیادی با آنالیز EDS نمونه‌های مخلوط شده پودری قبل از تفجوشی (شکل ۲) دارد. بنابراین می‌توان استنباط کرد که فرایند تفجوشی منجر به وارد شدن عنصری جدید به زمینه نشده است و خروج کربنات پتاسیم با افزایش دما همراه با واکنش ناخواسته‌ای با فوم فلزی نشده است.



شکل ۷. ریز ساختار جداره سلول و نتیجه آنالیز EDS فوم کامپوزیتی مس - آلومینا .

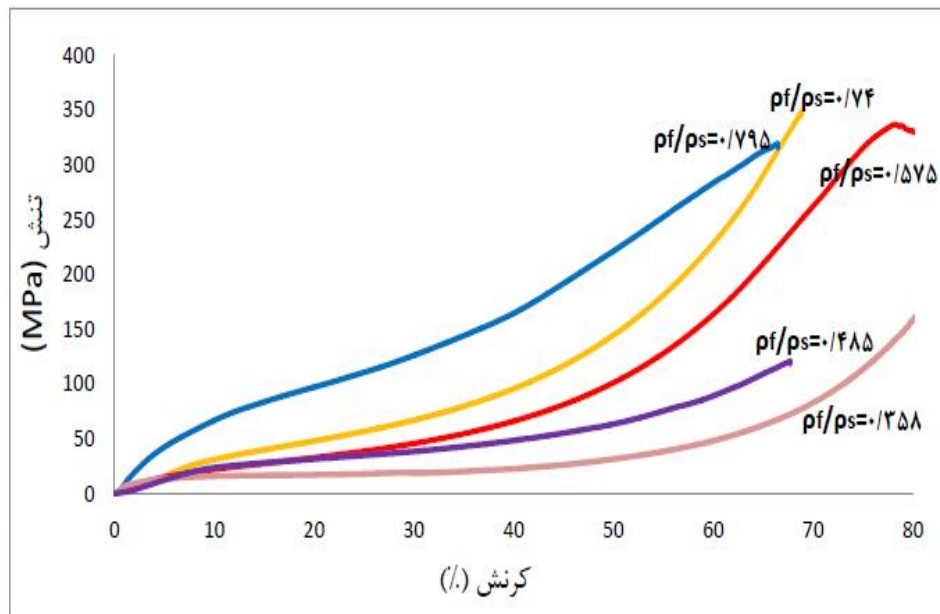
بررسی خواص مکانیکی

در شکل ۸ منحنی تنش کرنش یک نمونه فوم معمولی مسی با یک نمونه فوم کامپوزیتی مس - آلومینا با درصد تخلخل برابر (درصد تخلخل حدود ۵۰٪) با هم مقایسه شده است. همانطور که در این تصویر مشاهده می‌شود نمونه‌ی کامپوزیتی دارای تنش پایای بالاتری (حدود ۵ مگا پاسکال) نسبت به نمونه فوم مسی است. همچنین کرنش چگالش نمونه‌ها تغییر چندانی نداشته است. این نتایج نشان می‌دهد با استفاده از ذرات نانوالومینا مقدار جذب انرژی ماده حدود ۱۷.۳۴ درصد افزایش داشته است. نانو ذرات آلومینا مانند سایر ذرات سرامیکی که به عنوان فاز تقویت‌کننده استفاده می‌شوند، به خاطر اختلاف ثابت انبساط حرارتی که با زمینه فلزی دارند، در مرحله سرد شدن تا دمای محیط، چگالی بالایی از نابعایی‌ها را در زمینه به وجود می‌آورند. کرنش‌های عدم انطباقی به وجود آمده در فصل مشترک نانو ذرات و زمینه به عنوان مانعی در برابر حرکت نابعایی‌ها عمل کرده که نتیجه آن افزایش سختی نانو کامپوزیت حاصله، خواهد بود [۲۱]. بنابراین استحکام جداره سلولها افزایش یافته و منجر به افزایش استحکام فوم فلزی می‌شود. از طرف دیگر همانطور که در قسمت قبل به آن اشاره شد، افزودن ذرات تقویت‌کننده در ابعاد نانومتری (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) در کنار درصد وزنی مناسب و توزیع همگن این ذرات در زمینه، انعطاف پذیری را کاهش نمی‌دهد [۱۶ و ۱۷].



شکل ۸. نتایج آزمون فشار فوم مسی و فوم کامپوزیتی مس با ۲ درصد وزنی نانوذرات آلومینا.

منحنی‌های تنش کرنش فشاری برای ۵ نمونه فوم نانوکامپوزیتی حاوی درصد‌های وزنی متفاوت از عامل فوم‌ساز و بنابراین درصد‌های تخلخل متفاوت در شکل ۹ نشان داده شده‌اند. همانطور که در این تصویر مشاهده می‌شود، نمودارهای تنش-کرنش برای نمونه‌های فوم با درصد‌های تخلخل متفاوت، همانند دیگر فوم‌های فلزی [۲۵] به سه ناحیه متمایز تقسیم می‌شوند. این سه ناحیه عبارت‌اند از ناحیه کشسان در کرنش‌های کمتر از ۱۰ درصد، ناحیه پلاتو در کرنش‌های متوسط بین ۱۰ تا ۴۰ درصد که کرنش در مقدار تقریباً ثابتی از تنش به میزان زیادی تغییر می‌کند و ناحیه متراکم شدن که در کرنش‌های بالاتر به وجود آمده و افزایش تنش با افزایش کرنش با شیب زیادی مشاهده می‌شود. آنچه از این منحنی‌ها استنباط می‌شود افزایش استحکام (σ) با کاهش درصد تخلخل است. کاهش استحکام فوم با افزایش درصد تخلخل به علت کم شدن ضخامت دیواره سلولها و افزایش حجم حفرات است. در واقع با افزایش درصد تخلخل مقدار سطح فلز در سطح مقطع کاهش می‌یابد و بنابراین استحکام ماده افت می‌کند. علاوه بر این، مشاهده می‌شود که تغییر شکل نمونه‌ها کاملاً همگن بوده و اثری از شکست ناگهانی یا خرد شدن نمونه‌ها تحت بارهای اعمال شده نیست. این رفتار نشان‌دهنده خاصیت جذب انرژی فشاری مطلوب نمونه‌ها است و ناشی از پیوند خوب زمینه کامپوزیتی در نقاط اتصال حفرات و همچنین فرایند تفجوشی مناسب است.



شکل ۹. نتایج آزمون فشار فوم‌های تولیدشده با ۲ درصد وزنی نانو ذرات آلومینا و درصدهای تخلخل متفاوت.

همچنین مقدار جذب انرژی هر نمونه متناسب با تغییر چگالی نسبی تغییر می‌کند و با افزایش مقادیر چگالی نسبی فوم، میزان جذب انرژی آن نیز افزایش می‌یابد. افزایش میزان جذب انرژی یک ماده به سطح زیر منحنی تنش- کرنش بستگی دارد. در این نمونه‌ها همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، افزایش دانسیته نسبی، منجر به افزایش تنش پایا و عدم تغییر کرنش چگالش شده است. بنابراین در واقع استحکام افزایش و انعطاف پذیری تغییر نکرده است. در این شرایط سطح زیر نمودار افزایش یافته است. از آنجایی که کرنش چگالش در فوم‌های فلزی بیشتر تحت تاثیر جنس نمونه و اندازه حفرات است [۳]، میزان چگالی نسبی تاثیر زیادی بر روی آن ندارد و این رفتار قابل پیش بینی بود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق فوم نانو کامپوزیتی زمینه مسی تقویت‌شده با نانو ذرات آلومینا (Al_2O_3)، با استفاده از عامل فوم ساز کربنات پتاسیم (K_2CO_3) و با به‌کارگیری روش فوم سازی پودر فشرده، تولید شد. نتایج تحقیق، توزیع و نفوذ سطحی مناسب نانو ذرات در زمینه مس و ساختار حفرات همگن را نشان داد که حاکی از مناسب بودن فرایند آسیاکاری مکانیکی برای تولید پودر نانو کامپوزیتی و دما و زمان تفجوشی مناسب طی مراحل تولید بود. نتایج نشان داد که کامپوزیت سازی پودرهای اولیه تاثیر منفی بر فرایند نفوذ و تفجوشی نداشته است. همچنین نتایج خواص مکانیکی مربوط به فوم مسی و فوم کامپوزیتی نشان داد افزودن ذرات

نانوآلومینا به پودر مس اولیه منجر به افزایش استحکام (حدود ۱۷ درصد) و عدم کاهش انعطاف پذیری نمونه می شود. تنش پایای نمونه‌های تولیدشده با افزایش دانسیته نسبی افزایش داشت به گونه ای که افزایش دانسیته نسبی از ۰/۳۵۸ به ۰/۷۹۵ منجر به افزایش تنش پایا از ۱۸ به ۱۱۲/۵ مگا پاسکال شد. همچنین مقادیر جذب انرژی نیز با افزایش چگالی نسبی نمونه‌ها افزایش داشت و از ۹/۹۸ ژول برای کمترین دانسیته نسبی تا ۲۸/۲۰ ژول برای بالاترین دانسیته نسبی متغیر بود.

مراجع

- [1]N. Ramakrishnan . (1996)"An analytical study on strengthening of particulate reinforced metal matrix composites", ActaMaterialia, Vol. 44, pp. 69-77.
- [2]J. Hashim, L. Looney, M.S.J. Hashmi.(2001), "The wettability of SiC particles by molten aluminum alloy", Materials processing Technology, Vol. 119, pp. 324-328,.
- [۳]م. گلستانی پور و م. توکلی، (زمستان ۹۱). " بررسی جذب انرژی پزل های ساندویچی با هسته فوم آلومینیوم تحت آزمون سوراخ کاری". مجله مواد نوین؛ جلد ۳، شماره ۲، صفحه ۳۵-۳۸.
- [4]Y.Y. Zhao, T. Fung, L.P. Zhang, F.L. Zhang. (2005). " Lost carbonate sintering process for manufacturing metal foams". ScriptaMaterialia, 52 , 295–298.
- [5]A.simone and I. g. gibson: (1998).Acta Mater, 46, 3109–3123,.
- [6]I.Duarte and J. Banhart. (2000). "A study of aluminium foam formation-kinetics and microstructure", Acta Materialia, 48: p. 2349-2362.
- [7]Yuyuan Zhao, Fusheng Han, Thomas Fung. (2004)."Optimization of compaction and liquid-state sintering in sintering and dissolution process for manufacturing Al foams". Materials Science and Engineering A364 ,117–125.
- [8]H.Nakajima, S.K Hyun, K. Ohashi, K.Ota, K.Murakimi,(2001). " fabrication of porous copper by unidirectional solidification under hydrogen and its properties" J. Colloids Surf. A physicochem.Eng.Asp,Vol 179,pp209-214,.
- [9]Q.Z. Wang, C.X. Cui, S.J. Liu, L.C. Zhao.(2010). "Open-celled porous Cu prepared by replication of NaCl space-holders". Materials Science and Engineering A 527 , 1275–1278.
- [10]Halil I. Bakan.(2006)."A novel water leaching and sintering process for manufacturing highly porous stainless steel". ScriptaMaterialia55 , 203–206.
- [11]Y.Y. Zhao, T. Fung, L.P. Zhang, F.L. Zhang. (2005). "Lost carbonate sintering process for manufacturing metal foams". ScriptaMaterialia52 , 295–298.

[12]D.X. Sun, Y.Y. Zhao. (2005).“Phase changes in sintering of Al/Mg/NaCl compacts for manufacturing Al foams by the sintering and dissolution process”. Materials Letters 59 6– 10.

[۱۳]مغنیان، امیر حسین، فهیمه شجاعی پور، کاظم پورآذرنگ، و پروین عباچی،(۱۳۹۰). بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی نانو کامپوزیت Cu/TiO₂ تولید شده به روش متالورژی پودر/ اکسیداسیون داخلی، پنجمین همایش مشترک انجمن مهندسی متالورژی ایران، اصفهان، انجمن علمی ریخته‌گری ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[14]P.K. Jena, E. A. Brocchi, M. S. Motta,(2001).“In situ formation of Cu-Al₂O₃ nano-scale composites by chemical routes and studies on their microstructure” , Master.Sci.Eng. A, vol313, pp180-186.

[15]D.Y.Ying, D. L. Zhang,(, 2000). “Processing of Cu-Al₂O₃ metal matrix nano composite material by high energy ball milling”. Master. Sci. Eng. A, Vol 286, pp152-156.

[16]K.M. Mussert, W.P. Vellinga, A. Bakker, S. Van Der Zwaag, (2002).“A nano-indentation study on the mechanical behavior of the matrix material in an AA6061-Al₂O₃ MMC”, Materials Science, Vol. 37, pp. 789–794.

[17]Y. Yang, J. Lan, X. Li,(2004) "Study on bulk aluminum matrix nano-composite fabricated by ultrasonic dispersion of nano-sized SiC particles in molten aluminum alloy", Materials Science and Engineering, Vol. 380, pp. 378–383,.

[۱۸]تولید کامپوزیت پایه مس تقویت‌شده با ذرات آلومینا و کاربیدسلیسیوم به روش آسیاکاری مکانیکی و ارزیابی ریزساختاری آن ۱۳۸۵.عاطفه نبوی.

[19]F. Shehata*, M. Abdelhameed, A. Fathy, M. Elmahdy,(2011) “ Preparation and Characteristics of Cu-Al₂O₃Nanocomposite” ,Open Journal of Metal,1, 25-33,.

[20]N. Kanetake, T. Miyoshi, H. Nakajima and F. Ono, "International Standard for Compression Test of Porous and Cellular Metals", Japan.

[21]B. Abbasipour, B. Niroumand and S. M. Monirvaghefi,(2010). "Compocasting of A356-CNT Composite", Transaction of Nonferrous Metals Society of China, 20, 1561-1566.

[22]B. Abbasipour, B. Niroumand, S.M. Monir Vaghefi, (2010).“ Compocasting of A356-CNT composite” ,Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 20 1561-1566.

[23]D. Abdul Saheb, (2011) .“ALUMINUM SILICON CARBIDE AND ALUMINUM GRAPHITE PARTICULATE COMPOSITES “,ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 6 41-46.

[24] J. Banhart, Prog. (2001) .Mater. Sci. 46 559.

[25]Jae-Soung Park¹, Soong-Keun Hyun¹, (2006).“Effect of Pore Morphology on Compressive Yield Strength of Lotus-Type Porous Copper with Various Specimen Sizes”, Materials Transactions, Vol. 47, 2208-2212.

iMat
Conference 2014