تاثیر درصد گرافن بر خواص مکانیکی نانو کامپوزیت مس/گرافن

سید حمید دانشمند*[۱]، محمد ذاکری[۲] ، تقی شجاعی[۳]، علی محمد بیگی[۱] و علی نظری[۴]

[۱]کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران

[۲]استادیار، پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران

[۳]دانشجوی دکتری، گروه هوافضا، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

[۴]استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۹۲/۶/۷، **تاریخ دریافت نسخهٔ اصلاح‌شده:** ۹۲/۱۰/۲۱، **تاریخ پذیرش قطعی:** ۹۲/۱۰/۲۲

چکیده در این تحقیق، برای بررسی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت مس/گرافن با استفاده از فرآیند آلیاژسازی مکانیکی و پرس سرد از طراحی آزمون تاگوچی استفاده شده است که متغییر هایی نظیر درصد گرافن، زمان آسیاب کاری، فشار پرس و دمای تف جوشی در این تحقیق بکار برده شده است.در این مقاله تاثیر درصد گرافن بر خواص مکانیکی نانو کامپوزیت مس/گرافن مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور عملیات آلیاژسازی مکانیکی پودرهای مذکور به مدت حداکثر ۲۰ ساعت درون آسیاب گلوله‌ای سایشی و تحت محیط گاز آرگون انجام شد. برای بررسی مورفولوژی ذرات پودر از میکروسکوپ الکترونی روبشی، آنالیز مخلوط پودری از الگوی پراش پرتو X و برای ردیابی گرافن از طیف سنج آنالیز رامان استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده بهبود خواص مکانیکی می باشد به صورتی که بالاترین استحکام فشاری(۵۶۲MPa) در میزان ۰/۵ درصد گرافن و بالاترین سختی(۶۳/۳BHN) در میزان ۰/۲ درصد گرافن به دست آمد.

کلمات کلیدی: نانوکامپوزیت مس/گرافن، آلیاژسازی مکانیکی، خواص مکانیکی.

The effect of graphene percent on mechanical properties of Cu/graphene nanocomposites

S.H. Daneshmand*[1], M. Zakeri[2], T. Shojaee[3], A. Mohammadbeigy[1] and A. Nazari[1]

[1]Department of Materials Engineering, Islamic Azad University, Saveh, Iran
[2] Institute of Ceramics, Materials and Energy Research Institute, Karaj, Iran
[3] Aerospace Faculty, University of Imam Hussain (AS), Tehran, Iran

Abstract In this study, to investigate the mechanical properties of Cu / graphene nanocomposite using by mechanical alloying process of cold pressing of the Taguchi experimental design is used when variables such as percentage of graphene, milling time, pressure pressing and sintered temperatures used in this study. In this article the effect of graphene on the mechanical properties of copper / graphene nanocomposite has been studied. For this operation, the mechanical alloying powders in a ball mill for 20 hours maximum wear under argon atmosphere was carried out. Powder particle morphology by scanning electron microscopy, X-ray diffraction analysis of the powder mixture model and Raman spectra analyze has been used for graphene detect. According to the results mechanical properties are improved such that the highest compressive strength (MPa562) and highest hardness (۶۳/۳ BHN) are achieved in the Al composite reinforced with ۰/۵ % and ۰/۲% graphene respectively.

Keywords: Cu/Graphene nanocomposites, Mechanical alloying, mechanical properties.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: قم، خیابان۱۹دی، کوی ۷۱

تلفن: ۰۹۱۲۷۵۴۱۸۶۴، دورنگار:- ، پیام نگار: Daneshmand_shd@yahoo.com

۱– مقدمه

مس یکی از فلزات مهم مهندسی است زیرا در شرایط غیرآلیاژی و همچنین به صورت آلیاژ با فلزات دیگر کاربرد وسیعی دارد. در شرایط غیرآلیاژی، این فلز ترکیب خارق‌-العاده‌ای از خواص دارد که آن را بصورت ماده‌ای اساسی در صنایع الکتریکی در می‌آورد [۱]. در گذشته اغلب از نقره بعنوان فلز پایه برای اتصالات الکتریکی استفاده می شد اما با گسترش صنایع الکتریکی و افزایش قیمت نقره یافتن جایگزین برای نقره در کنتاکت‌های الکتریکی با هدایت الکتریکی، گرمایی و استحکام بالا مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. از این رو کامپوزیت های پایه مس به سبب هدایت الکتریکی و گرمایی مناسب آنها برای کاربرد در کنتاکت های الکتریکی مورد توجه قرار گرفت [۲]. گرافن یک ماده جذاب قابل توجه در سال های اخیر بوده است.

گرافن ساختار دو بعدی از یک لایه منفرد شبکه لانه زنبوری کربنی می‌باشد. گرافن به علت داشتن خواص فوق العاده در رسانندگی الکتریکی (۲۰۰۰۰۰ Vs/cm^2) و رسانندگی گرمایی (۵۰۰۰ $Wm^{-1}K^{-1}$)، چگالی پایین (۰/۷۷ mg/m^2) و تحرک پذیری حامل‌های بار، رسانندگی نوری و خواص مکانیکی (مدول یانگ ۱۱۰۰GPa و مقاومت بالا در برابر شکست 125 GPa) به ماده‌ای منحصربفرد تبدیل شده است. این سامانه جدید حالت جامد به واسطه این خواص فوق‌العاده به عنوان کاندید بسیار مناسب برای جایگزینی سیلیکون در نسل بعدی قطعه‌های فوتونیکی و الکترونیکی در نظر گرفته شده است و از این رو توجه کم سابقه‌ای را در تحقیقات بنیادی و کاربردی به خود جلب کرده است [۳]؛ [۴] مدل سازه های مولکولی حاکی از مدول و مقاومت مکانیکی بسیار بالای لایه های گرافن در گرافیت (σ =125 GPa) و (E=1TPa) است که در نتیجه سبب شد تا از مواد کربنی به عنوان یک تقویت کننده عالی در صنایع مختلف کاربردهای فراوانی داشته باشد[۵]. برخی از کاربردهای گرافن عبارتند از: استفاده به جای فیبرهای کربن درکامپوزیت ها که باعث ایجاد هواپیماها و ماهواره‌های سبک‌تر گردد، استفاده شدن به‌جای سیلیکون‌های نیمه‌رسانا در ترانزیستورها، کاربرد در الکترونیک نوری و ایجاد توربین‌های بادی کارآمدتر [۶]. امروزه روش‌های بسیار متنوعی برای ساخت گرافن بکار برده می‌شود که از متداول‌ترین آنها می‌توان به روش‌های پوسته پوسته کردن میکرومکانیکی، روش رشد هم‌بافته، رسوب بخار شیمیایی و روش‌های شیمیایی را نام برد. برخی روش‌های دیگری همانند شکافتن نانو لوله‌های کربنی برای تولید نانو نوارهای گرافن و ساخت با امواج ماکرویو نیز اخیراً بکاربرده شده‌اند [۷]. در تحقیقاتی که بر روی نانو کامپوزیت مس/گرافن انجام شده است نشان می‌دهد که گرافن باعث افزایش هدایت حرارتی مس شده است. با استفاده از گرافن تک لایه در این نانوکامپوزیت‌ها میزان هدایت حرارتی به بیشترین مقدار خود یعنی حدود ۵۰۰ $MW\ m^{-2}K^{-1}$ می‌رسد در حالی که هدایت حرارتی این نانو کامپوزیت ها با استفاده از گرافن دو لایه به حدود نصف میزان گرافن تک لایه می باشد و برای گرافن‌های بیشتر از سه لایه هدایت حرارتی به ۱۰۰ $MW\ m^{-2}K^{-1}$ کاهش پیدا می‌کند [۸]. کامپوزیت‌های پایه مس تقویت شده با گرافن به سبب هدایت الکتریکی و گرمایی مناسب و استحکام در دمای بالا، ماده مناسب برای اتصالات الکتریکی می باشد. همچنین از گرافن بعنوان فاز تقویت کننده در نانو کامپوزیت آلومینیوم/گرافن توسط استفن بارتولوچی و همکارانش در امریکا انجام شده است. که در آن پژوهش سه نمونه شامل آلومینیوم خالص، آلومینیوم ۱ درصد نانولوله‌های کربنی و آلومینیوم ۰/۱ درصد گرافن به روش آلیاژسازی مکانیکی و پرس ایزواستاتیک گرم و اکسترود تولید شده است. نتایج نشان دهنده افت خواص مکانیکی شده نانو کامپوزیت آلومینیوم/گرافن است که دلیل آن را تشکیل کاربید آلومینیوم ناشی از کیفیت پایین گرافن بیان کرده است [۹]. حال در این پژوهش قصد بر تولید نانو کامپوزیت مس/گرافن با درصدهای مختلف و بررسی خواص مکانیکی این نانو کامپوزیت می‌باشد.

۲– مواد و روش تحقیق

در این پژوهش برای تهیه نانو کامپوزیت مس–گرافن از روش آلیاژسازی مکانیکی استفاده شده است که متغیرهای موجود در این پژوهش شامل درصد گرافن که عبارتند از ۰/۲، ۰/۵ و ۱، زمان آسیاب کاری ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ ساعت، دمای تف جوشی ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد و

فشار تف جوشی ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ مگاپاسکال می‌باشد که برای جلوگیری از انجام آزمون‌های تکراری که نتایج آنها با توجه به آزمون‌های دیگر قابل پیش‌بینی است، از طراحی آزمون به روش تاگوچی استفاده خواهد شد تا تعداد آزمون‌های لازم برای رسیدن به جواب بهینه مشخص گردد. طرح آزمایشی که توسط روش تاگوچی ارائه شده است، شامل آرایه‌های متعامدی است که متغیرهای تأثیرگذار بر روی فرآیند را سازماندهی می‌کند و نیز سطوحی را تعیین می‌کند که این متغیرها می‌توانند در آن سطوح تغییر نمایند. این آزمایش عواملی را تعیین می‌کند که کیفیت محصول را تا بیشترین حد و با کمترین میزان آزمایش‌ها، تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین در زمان و منابع صرفه‌جویی خواهد شد. با وارد کردن اطلاعات موجود به نرم‌افزار مربوطه (که در این پژوهش از نرم‌افزار کوآلتک استفاده خواهد شد)، تعداد آزمون‌های لازم به دست می‌آید[۱۰]. برای ۴ فاکتور که هر کدام ۳ سطح داشته باشند جدولی مطابق زیر داریم:

جدول ۱. متغیرهای موجود در تولید نانو کامپوزیت مس-گرافن.

عامل	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
عامل اول: درصد گرافن	۰/۲	۰/۵	۱
عامل دوم: زمان آسیاب کاری(h)	۱۰	۱۵	۲۰
عامل سوم: فشار تفجوشی (MPa)	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰
عامل چهارم: دمای تفجوشی °C	۷۰۰	۸۰۰	۹۰۰

جدول ۲. مشخصات تولید نانو کامپوزیت مس-گرافن.

کد آزمون	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
N1	۰/۲	۱۰	۴۰۰	۷۰۰
N2	۰/۲	۱۵	۵۰۰	۸۰۰
N3	۰/۲	۲۰	۶۰۰	۹۰۰
N4	۰/۵	۱۰	۵۰۰	۹۰۰
N5	۰/۵	۱۵	۶۰۰	۷۰۰
N6	۰/۵	۲۰	۴۰۰	۸۰۰
N7	۱	۱۰	۶۰۰	۸۰۰
N8	۱	۱۵	۴۰۰	۹۰۰
N9	۱	۲۰	۵۰۰	۷۰۰
N10*	۰	۱۰	۴۰۰	۷۰۰

*لازم به ذکر است که نمونه ۱۰ N به عنوان نمونه شاهد می‌باشد.

در این پژوهش از پودرهای مس با خلوص ۹۹/۹ ٪ از شرکت بایر آلمان با اندازه دانه کمتر از ۲۰ میکرون و کد محصول ۹۲۰۰۵ استفاده شده است. همچنین پودر گرافن با خلوص ۹۹ ٪ از شرکت نانو ساختار آویژه (نانو ساو) با تعداد لایه n<۲۰ استفاده شده است. برای تهیه نمونه مس خالص و مس/گرافن به روش آلیاژسازی مکانیکی به ترتیب مراحل زیر انجام گرفت:

در این مرحله پژوهش ابتدا پودرهای مس و گرافن را با نسبت وزنی تعیین شده همراه با ۲ درصد وزنی اسیداستئاریک بعنوان تنظیم کننده فرآیند (PCA) با نسبت وزنی گلوله به پودر ۱۰:۱ با قطر ۱۰ میلیمتر در دستگاه آسیاب گلوله‌ای سایشی با محفظه آبگرد با سرعت چرخش ۲۵۰ دور بر دقیقه و تحت محیط گاز آرگون بطور مکانیکی آسیاب کاری شدند و آلیاژ مس/گرافن بدست آمد. جنس محفظه و گلوله‌های مورد استفاده از فولاد زنگ نزن بود. برای پرس از یک قالب فولادی گرم کار که تحت آبکاری و سخت کاری سطحی قرار گرفته است به قطر داخلی ۱۲ میلیمتراستفاده شد. در این مرحله به منظور جلوگیری از اکسید شدن ذرات پودر، پودرها تحت فشار ۳۰ MPa و دمای ۵۰۰°c قرار گرفت. احتمالا با توجه به دمای ۵۰۰°c اثر کار سرد حاصل از آسیاب مکانیکی حذف می‌شود. به همین ترتیب نیز ماده روان ساز خارج و انسجام اولیه حاصل می شود. به منظور بالا بردن چگالی نمونه ها و کاهش تخلخل، نمونه ها در همین مرحله، تحت فشار ۴۰۰ مگاپاسکال پرس شدند. سپس برای تف جوشی، نمونه‌ها را درمحفظه ای حاوی گرافیت قرار داده و درب آنرا بسته و در داخل کوره عملیات حرارتی قرار دادیم تا نمونه‌ها در دمای ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰°c تف جوشی شوند، افزایش دما با نرخ ۱۰°c/min انتخاب شد همچنین زمان تف جوشی همدما برابر یک ساعت بود، در نهایت نمونه‌ها در کوره سرد شدند. برای بررسی تشکیل فازها از XRD ساخت شرکت Bruker AXS با پرتو با طول موج ۱/۵۴۰۴ آنگستروم Cu Kα و فیلتر نیکل استفاده شد. در این آزمایش زوایای مورد بررسی از ۱۰– ۸۰ درجه می باشد. محاسبه اندازه بلورچه ها از طریق رابطه Williamson–Hall [۱۱] و بر مبنای پهنایش الگوهای XRD انجام شد. برای بررسی مورفولوژی پودرها از دستگاه SEM ساخت شرکت JEOL استفاده شد. همچنین برای ردیابی گرافن از دستگاه طیف سنج رامان ساخت شرکت BRUKER استفاده شد. چگالی نمونه های تولید شده با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم به روش ارشمیدس به دست آمده است.

در ادامه به بررسی استحکام فشاری نمونه‌ها بر اساس

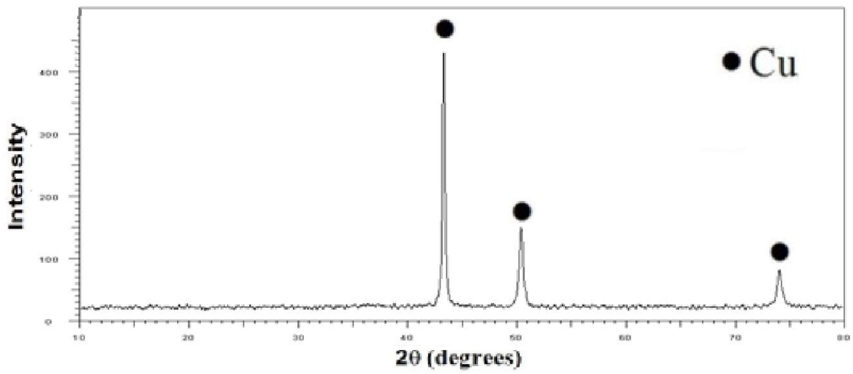
استاندارد E9-89a [۱۲] با نسبت ارتفاع به قطر ۱/۵ در نظر گرفته شده است که قطر نمونه‌ها در این پژوهش ۱۲ میلیمتر و ارتفاع آنها ۱۸ میلیمتر در نظر گرفته شده است و تمام نمونه ها دارای ابعاد و سطح مقطع مساوی تحت بار kg ۰/۱۵ انجام گرفت. در نهایت بـرای بررسـی سـختی نمونـه هـا از دستگاه سختی سنجی برینل تحت بار N ۶۰۰ و قطر ساچمه ۲/۵ میلیمتر استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

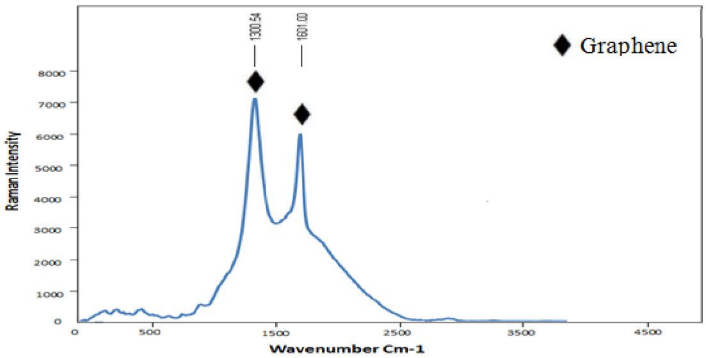
۳-۱-ارزیابی ساختار

نمودار (۱) نتایج آزمون پراش پرتو X نمونه Cu-0/5wt% Graphene به صورت مخلوط پودرها پس از مدت زمان ۱۵ ساعت آسیاب کردن، با نسبت وزنی گلوله به پودر ۱۰ به ۱ را نشان می‌دهد. به دلیل تشابه الگوی پراش و نزدیک بودن درصد گرافن نمونه‌ها و ذرات تقویت کننده از ارائه آزمون پراش پرتو X برای تمام نمونه‌ها صرفنظر شد. با توجه به اینکه دستگاه قادر به تشخیص گرافن موجود در نمونه‌ها نبود، تنها قله‌های مس در این نتایج مشاهده می‌شود.

اما با توجه به ایجاد محلول جامد در نمونه‌ها در حین آلیاژسازی مکانیکی، مقدار جابجایی در قله‌های اصلی مس به دلیل افزایش زمان آسیاب کاری و همچنین تفاوت قطر اتمی مس و گرافن و تغییر یافتن ثابت شبکه مس به علت حضور گرافن در شبکه آن، مشاهده می شود. از نتایج الگوی پراش پرتو X در زمان های مختلف بر نمونه Cu-0/5wt% Graphene بر می آید که پهن شدن قله ها با گذشت زمان نشان دهنده ریز شدن ذرات است. با توجه به حضور احتمالی ذرات آهن در حین برخورد ذرات پودر به گلوله و محفظه آسیاب در شبکه مس وارد شدند، مقداری بر جابجایی قله‌ها تاثیر می‌گذارد. از آنجا که قطر اتمی آهن A ۲/۵۲ بوده و از مس کوچکتر است و در صورت قرار گرفتن اتم آهن در شبکه مس، فاصله بین صفحات بلوری مس و ثابت شبکه آن کاهش پیدا می‌کند و با توجه به رابطه براگ زاویه پراش متناسب با قله‌های اصلی مس خالص افزایش می‌یابد.



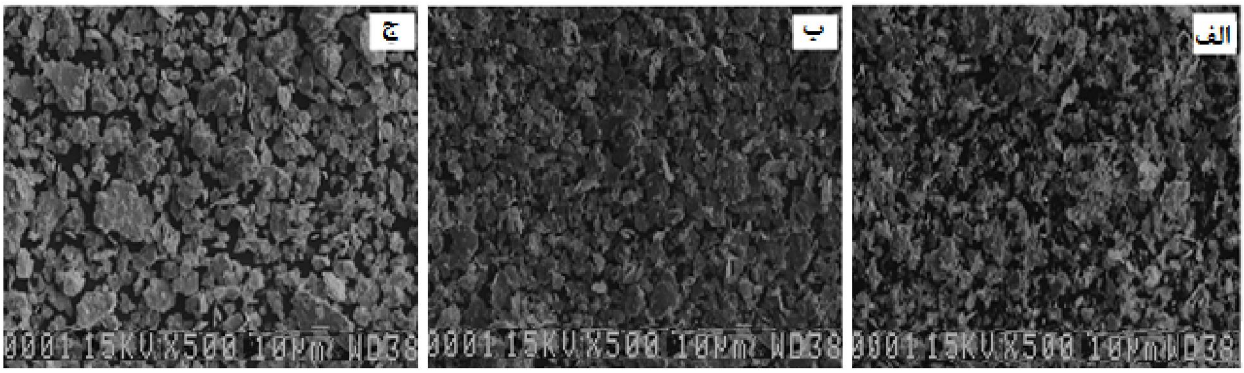
نمودار ۱. الگوی پراش پرتو X برای پودر Cu-1 wt% Graphene در زمان ۱۵ آسیاب کاری.



نمودار ۲. طیف رامان (Raman) برای ردیابی صفحات گرافن در نانو کامپوزیت Cu-1wt% Graphene.

نمودار (۲) طیف رامان را برای نمونه پودری مس ۱ درصد گرافن را نشان می‌دهد. از این آزمون جهت ردیابی گرافن در نانوکامپوزیت مس/گرافن استفاده گردید. همانطور که در نمودار (۲) مشاهده می‌شود دو قله بدست آمده است که نشان دهنده وجود گرافن در نانو کامپوزیت Cu-1wt% Graphene می‌باشد.

در این آزمون از چند نقطه مختلف نمونه طیف گیری انجام شده که در نقاط مختلف آن طیف های مشابهی مشاهده شده است که از هر کدام یکی به شرح ذیل گزارش شده است.[۱۳] به منظور ارزیابی مورفولوژی ساختار از مخلوط پودر Cu-0/5 wt% Graphene در زمان های مختلف آسیاب تصاویر SEM گرفته شد که تصاویر آن در شکل (۱) آورده شده است.



شکل ۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودر Cu-0/5 wt% Graphene در زمان‌های مختلف آسیاب، الف)۱۰ ساعت، ب) ۱۵ساعت و ج)۲۰ ساعت آسیاب شده در بزرگنمایی X۵۰۰.

با توجه به اینکه مس نرم است در حین آسیاب کاری، ذرات پودر نرم پهن می‌شوند، پس از جوش سرد شکسته و دوباره جوش می خورند. وقتی دو گلوله فلزی به هم برخورد می کنند مقداری پودر در بین آنها به دام می‌افتد. تغییر شکل پلاستیکی ذرات در اثر نیروی ضربه‌ای منجر به کار سختی و سپس شکست آنها می‌شود و سطوح جدید ذرات را قادر به جوش خوردن با هم و در نتیجه افزایش اندازه دانه می‌کند. از آنجایی که در مراحل اولیه آسیاب کردن، ذرات نرماند و تمایل آنها به جوش خوردن و شکل‌گیری ذرات بزرگتر زیاد است، اندازه ذرات افزایش می‌یابد و به چند برابر ذرات اولیه می‌رسد. ذرات کامپوزیت در این مرحله دارای ساختار لایه ای با ترکیب متفاوت از ترکیب اولیه هستند. آلیاژ شدن مس با گرافن از این مرحله به بعد به علت تماس سطحی بیشتر و امکان نفوذ بهتر آسان می شود[۱۴].

۲-۳-ارزیابی خواص مکانیکی

نتایج حاصل از خواص مکانیکی شامل آزمون سختی برینل و استحکام فشاری و همچنین چگالی نمونه‌ها به روش ارشمیدوس در جدول (۳) آمده است:

جدول ۳. نتایج بدست آمده از استحکام فشاری، سختی و چگالی.

شماره نمونه	سختی (BHN)	استحکام فشاری (MPa)	چگالی (gr/cm^3)	درصد تخلخل(٪)
N1	۵۶	۳۴۰	۷/۱۳	۱۹/۸۸
N2	۶۴	۶۶۰	۶/۹۰	۲۲/۴۸
N3	۷۰	۵۰۵	۶/۴۴	۲۷/۶۴
N4	۵۸	۳۹۵	۶/۷۴	۲۴/۲۷
N5	۷۲	۷۸۰	۷/۳۸	۱۷/۰۷
N6	۵۷	۵۱۰	۶/۹۳	۲۲/۱۳
N7	۶۲	۳۸۰	۷/۱۶	۱۹/۵۵
N8	۶۰	۳۷۵	۶/۸۴	۲۳/۱۴
N9	۵۰	۳۷۰	۷/۱۲	۲۰
N10*	۳۹	۲۸۰	۶/۸۳	۲۳/۲۵

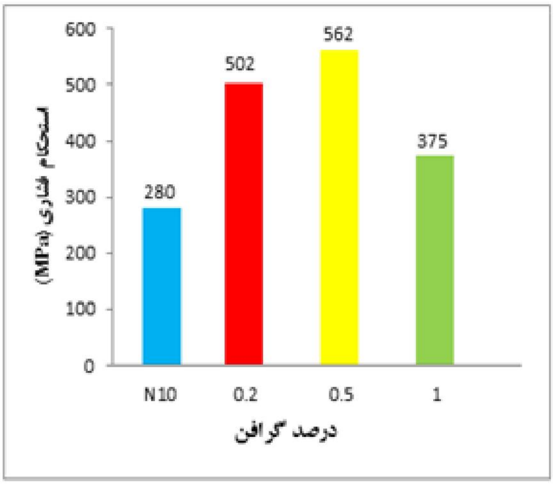
با توجه به جدول فوق مشاهده می شود که بالاترین استحکام فشاری، سختی، چگالی و کمترین تخلخل در نمونه‌های

حاوی گرافن مربوط به نمونه N5 می باشد.

۳-۳-نتایج حاصله از نرم افزار Qualitek-4

الف: تاثیر درصد گرافن بر استحکام فشاری نانوکامپوزیت مس/گرافن:

به منظور بررسی تاثیر گرافن بر خواص استحکام فشاری نتایج ۹ آزمون طراحی شده به روش تاگوچی را در نرم افزار Qualitek-4 وارد نموده و نتایج زیر حاصل شد. در نمودار (۳) تاثیر درصد گرافن بر استحکام فشاری نانوکامپوزیت مس/گرافن نشان داده شده است.

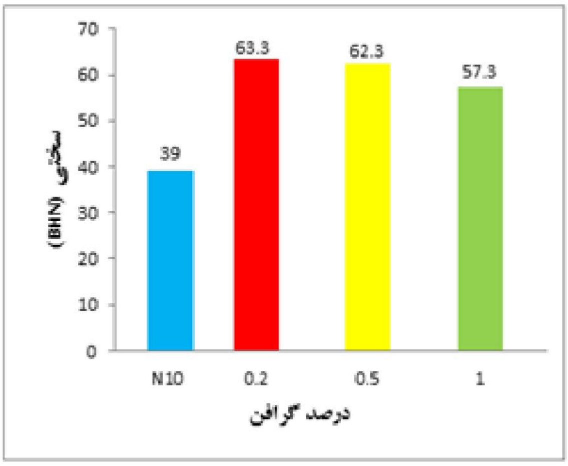


نمودار ۳. تاثیر درصد گرافن بر استحکام فشاری نانوکامپوزیت مس/گرافن.

همانطور که در نمودار (۳) مشاهده می‌شود در حضور گرافن استحکام افزایش چشمگیری می یابد که یکی از دلایل افزایش استحکام در نانوکامپوزیت ها حضور فاز تقویت کننده در زمینه می‌باشد. در یک سامانه کامپوزیت فلزی انتقال نیرو از زمینه به فاز تقویت کننده و نیز افزایش چگالی نابجایی ها موجب افزایش استحکام فلز زمینه می‌شود [۱۵]. با افزایش درصد گرافن از ۰/۲ درصد به ۰/۵ درصد استحکام فشاری افزایش یافته است ولی با افزایش درصد گرافن از ۰/۵ به ۱ درصد استحکام کاهش یافته است. نکته دیگری که در نمودار مشهود است، کاهش استحکام در ۱ درصد گرافن می‌باشد، که احتمال می‌رود در ۱ درصد گرافن فازهای میانی ضعیفی تشکیل شده که این فاز باعث کاهش استحکام شده است. (به دلیل افزایش درصد گرافن و واکنش گرافن با مس احتمالاً یک فاز میانی ضعیفی در ساختار تشکیل شده باشد). که از آنجایی که گرافن دارای خواص مکانیکی بی‌نظیری است، حضور آن به عنوان فاز تقویت کننده باعث افزایش استحکام شده است.

ب: تاثیر درصد گرافن بر سختی نانوکامپوزیت مس/گرافن:

همانطور که در نمودار (۴) مشاهده می‌شود حضور گرافن باعث افزایش سختی این نانو کامپوزیت شده و سختی حدود دو برابر افزایش یافته است. با توجه به نمودار ملاحظه می شود که بالاترین سختی در ۰/۲ درصد گرافن حاصل شده است. همچنین در مقایسه با نمونه‌های شاهد تاثیر حضور گرافن در افزایش سختی به خوبی مشاهده می شود.



نمودار (۴) : تاثیر درصد گرافن بر سختی نانوکامپوزیت مس/گرافن.

۴– نتیجه‌گیری

به منظور تولید نانو کامپوزیت مس/گرافن به روش آلیاژسازی مکانیکی، در این پژوهش زمان مناسب برای آلیاژسازی ۱۵ ساعت و نسبت گلوله به پودر ۱۰ به ۱ در نظر گرفته شده است. پس از بررسی خواص مکانیکی نتایج زیر بدست آمده است :

۱. افزایش استحکام فشاری با افزودن ۰/۵ درصد گرافن برحسب نتایج نرم افزار کوآلتک .

۲. افزایش سختی با افزودن گرافن بـه میـزان ۰/۲ درصـد گرافن برحسب نتایج نرم افزار کوآلتک.

۳. نمونه بهینه بدست آمده، نمونه N۵ با ۰/۵ درصد گرافن، ۱۵ ساعت آسیاب کاری، فشار پرس MPa ۶۰۰ و دمای تف جوشی c°۷۰۰ می‌باشد که از استحکام فشاری MPa ۷۸۰ و سختی ۷۲ برینل برخوردار است.

با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق نتیجه می‌شود که از گرافن می‌توان به عنوان یک فاز تقویت کننده مناسب در کامپوزیت‌های زمینه مسی استفاده نمود و همچنین با توجه به کارهای صورت گرفته توسط دیگران در زمینه گرافن، نتیجه می‌شود عواملی نظیر روش ساخت گرافن، درصد گرافن و روش ساخت کامپوزیت می‌تواند بر خواص مکانیکی تاثیر گذار باشد.

مراجع

1. William F . Smith Mc Graw Hill Structure and Properties of Engineering Material 1987.
2. V.Rajkovic, D.Bozic and M. T. Jovanovic, Material and Design, Vol. 31, pp. 2010.
3. Geim , A. K. and K. S. Novoselov .The rise of graphene . Nature Materials 2007.
4. Compiled by the class for Physics of the Royal Swedish Academy of sciences .Scientific background on the Nobel prize in physics GRAPHENE. 2010.
5. Robertj,young,Ian A. Kinloch , Lei Gong , Kostya S. Novoselov.The mechanics of graphene nano composites : A review 2010.
6. تقی اسکویی م – روند تحقیقات در زمینه گرافن – ماهنامه فناوری نانو – سال هشتم اسفند ۱۳۸۸– شماره ۱۲، پیاپی۱۴۹.
7. Robertj,young,Ian A. Kinloch, Lei Gong, Kostya S. Novoselov. The mechanics of graphene nano composites: A review, 2010.
8. Shu-Wei Chang, Arun K Nair and Markus J Buehler . Geometry and temperature effects of the interfacial thermal conductance in copper– and nickel–graphene nanocomposites, 2012.
9. Stephen F. Bartolucci, Joseph. Paras, Mohammad A. Rafiee, Javad Rafiee, Sabrina Lee, DeepakKapoor,Nikhil Koratkar.Graphene–aluminum nanocomposites, 2011.
10. Yang K., E. Teo, and F. K. Fuss; “Application of Taguchi method in optimization of cervical ring” cage J. Biomech. In press, 2007.
11. G.K.Williamson and W.H.Hall , “ X-Ray line broadening from filed Alminium and wolfram”, Acta Metallurgica. 1, Jan 1953, 22-31.
12. William E. Luecke and Stephen M. Graham and Matthew A. Adler Repeatability and reproducibility of compression strength measurements conducted according to ASTM E9 2010.
13. S.-L. Zhang, Y.-T. Zhao, G. Chen, X.-N. Cheng, Q.-X. Dai, J. A.C. 429, 2007.
14. عنایتی، محمدحسین، "مواد نانو ساختار"، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۶.
15. Park , Ohio ASM HandBook ,"Composites" ASM Internationals. Material, 21, 1990, 51-55.