



## تأثیر درصد گرافن و دمای زینتر بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت آلومینیوم/گرافن

محمد بیگی<sup>۱\*</sup>؛ دانشمند<sup>۱</sup>؛ سید حمید<sup>۱</sup>؛ نظری<sup>۱</sup>؛ علی<sup>۱</sup>؛ ذاکری<sup>۲</sup>؛ محمد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه. بلوار شهید بهشتی بلوار شهید فهمیدن

<sup>۲</sup>پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج. مشکین دشت. بلوار امام خمینی

[A.mohammadbeigy@yahoo.com](mailto:A.mohammadbeigy@yahoo.com)

### چکیده

در این تحقیق، جهت بررسی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت آلومینیوم/گرافن از فرآیند آلیاژسازی مکانیکی و پرس گرم از طراحی آزمون تاگوجی استفاده شده است که متغیرهایی نظیر درصد گرافن، زمان آسیاب کاری، فشار پرس و دمای زینتر استفاده شده است. سپس ریزساختار نمونه‌ها توسط XRD، RAMAN و SEM مورد بررسی قرار گرفت، همچنین جهت بررسی خواص مکانیکی، از نمونه‌ها تست سختی برینل و استحکام فشاری گرفته شد. نتایج بدست آمده نشان دهنده بهبود خواص مکانیکی می‌باشد به صورتی که بالاترین استحکام فشاری (513 MPa) در 1 درصد گرافن و بالاترین سختی (144 BHN) در 2، 0 درصد گرافن به دست آمد و همچنین در اثر حضور گرافن چگالی کاهش یافت همچنین با افزایش دمای زینتر استحکام فشاری (570 MPa) در 50 درجه سانتیگراد و بالاترین سختی (13 BHN) در 50 درجه سانتیگراد بدست آمد.

کلمات کلیدی: نانوکامپوزیت آلومینیوم/گرافن، آلیاژسازی مکانیکی، بررسی خواص مکانیکی.

## The effects of graphene Percent & sintered temperature on mechanical properties of Al/graphene nanocomposite

A. Mohammadbeigy<sup>1\*</sup>, H. Daneshmand<sup>1</sup>, A. Nazari<sup>1</sup>, M. Zakeri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Engineering, Islamic Azad University, Saveh

<sup>2</sup>Department of Ceramics, Materials and Energy Research Institute, Karaj

[A.mohammadbeigy@yahoo.com](mailto:A.mohammadbeigy@yahoo.com)

### Abstract

In this study, to investigate the mechanical properties of Al / graphene nanocomposite using by mechanical alloying process of hot 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 & sintered temperature on the mechanical properties of Al / graphene nanocomposite has been studied. Then the microstructure of the samples was examined using XRD, RAMA and SEM; also the Brinell hardness test and compressive strength was used to study the mechanical properties of the samples. According to the results mechanical properties are improved such that the highest compressive strength (MPa 513) and highest hardness (BHN 144) are achieved in the Al composite reinforced with 1% and 0,2% graphene respectively. Also the composite's density decreases in the presence of graphene & with increasing temperature compressive strength (MPa 570) and highest hardness (BHN 13) are achieved.

**Keywords :** Al / graphene Nanocomposite, Mechanical alloying, Mechanical properties.



عنوان (PCA) با نسبت وزنی گلوله به پودر ۱۰:۱ با قطر گلوله ۱۰ میلیمتر در آسیاب گلوله‌ای سایشی تحت اتمسفر گاز آرگون بطور مکانیکی آسیابکاری و سپس پرس شدند. برای بررسی تشکیل فازهای تشکیل شده از XRD و جهت ردیابی گرافن از طیف سنج رامان استفاده شد. و همچنین جهت بررسی مورفولوژی پودرها از SEM استفاده شد. استحکام فشاری نمونه‌ها بر اساس استاندارد E۹-۸۹a و سختی نمونه‌ها به روش برینل تحت انجام شد.

جدول (۱): آزمون‌های طراحی شده به روش تاکوچی.

کد آزمون	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
N۱	۰/۲	۱۰	۴۰۰	۴۰۰
N۲	۰/۲	۱۵	۵۰۰	۴۵۰
N۳	۰/۲	۲۰	۶۰۰	۵۰۰
N۴	۰/۵	۱۰	۵۰۰	۵۰۰
N۵	۰/۵	۱۵	۶۰۰	۴۰۰
N۶	۰/۵	۲۰	۴۰۰	۴۵۰
N۷	۱	۱۰	۶۰۰	۴۵۰
N۸	۱	۱۵	۴۰۰	۵۰۰
N۹	۱	۲۰	۵۰۰	۴۰۰
N۱۰*	۰	۱۰	۴۰۰	۴۰۰

## نتایج و بحث

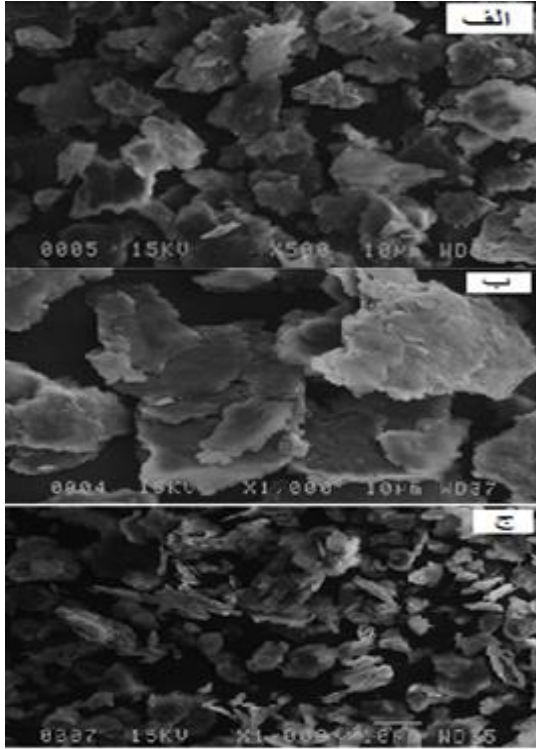
شکل ۱ الگوی پراش اشعه x برای پودر Al-۱%wtGr که به مدت ۱۰ ساعت آسیاب شده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل فقط پیک‌های مربوط به آلومینیوم مشاهده می‌شود. در این تحقیق به منظور ردیابی گرافن از نمونه Al-۱%wtGr

گرافن ورقه‌ای دو بعدی از اتم‌های کربن بوده که به عنوان یک تقویت کننده عالی مورد استفاده است [۱]. گرافن به علت داشتن خواص فوق العاده نظیر مدول یانگ بالا، مقاومت بالا در برابر شکست و چگالی پایین [۲] می‌تواند یک ماده مناسب به عنوان فاز تقویت کننده در کامپوزیت‌های زمینه آلومینیومی باشد. استغفان بارتولوچی و همکارانش تحقیقاتی بروی نانو کامپوزت Al-۰,۱%wtGr انجام داده اند. نتایج حاصله بیانگر نزول خواص مکانیکی می‌باشد، که دلیل آن ناشی از حضور (AL<sub>2</sub>C<sub>3</sub>) در مرز دانه‌ها و نقوص موجود در گرافن می‌باشد [۳]. هدف ما در این تحقیق استفاده از گرافن با کیفیت بالاتر و درصد‌های مختلف گرافن و دماهای متفاوت زینتر به منظور دستیابی به مقدار بهینه گرافن و دمای زینتری باشد.

## مواد و روش تحقیق

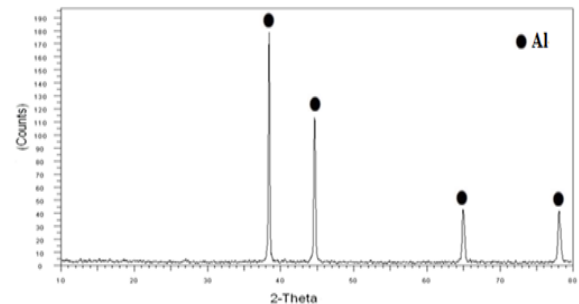
در این پژوهش از پودرهای آلومینیوم و گرافن با خلوص ۹۹٪ از شرکت بایر آلمان و نانو ساختار ویژه استفاده شد. در این تحقیق از طراحی آزمون به روش تاکوچی استفاده شد. بر این اساس گرافن در درصد‌های ۰/۲، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی، زمان آسیابکاری در ساعت‌های ۱۵، ۱۰ و ۲۰ ساعت، فشار تفجوشی در ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ (MPa) و دمای تفجوشی ۴۵۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ (°C) تعیین شد. لازم به ذکر است که نمونه N۱۰ به عنوان نمونه شاهد می‌باشد. در این پژوهش ابتدا پودرهای آلومینیوم و گرافن با نسبت‌های وزنی مشخص شده در جدول ۱ همراه با ۲ درصد وزنی اسید استاریک به

فشاری، سختی نتایج روش تاگچی را در نرم افزار Qualitek-۴ وارد نموده و نتایج زیر حاصل شد.



شکل (۳) تصاویر SEM پودر Al-0.2 wt% Graphene در زمان‌های مختلف آسیاب الف (۱۰ ساعت، ب) ۱۵ ساعت و ج) ۲۰ ساعت.

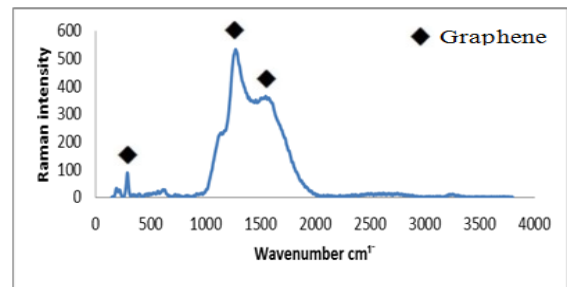
که به مدت ۱۰ ساعت آسیاب شدن، تست رامان گرفته شده که نتایج آن در شکل ۲ آورده شده است. بر اساس شکل دو پیک مشاهده می‌شود که نشان دهنده وجود گرافن در نانو کامپوزیت Al-1 wt% Graphene می‌باشد. نتایج حاصل از تست رامان با نتایج حاصله از کار دیگران هنجاری دارد [۳]. همچنین به منظور ارزیابی مورفولوژی ساختار از پودر Al-0.2 wt% Gr در زمان‌های مختلف آسیاب تصاویر SEM گرفته شده که تصاویر آن در شکل ۳ آورده شده است.



شکل (۱): الگوی پراش اشعه X پودر نانو کامپوزیت Al-1 wt% Gr که به مدت ۱۰ ساعت آسیاب شده است.

جدول (۲): نتایج حاصله از تست‌های استحکام فشاری، سختی و چگالی سنجی.

شماره نمونه	سختی (BHN)	استحکام فشاری (MPa)	چگالی ( $g/cm^3$ )	درصد تخلخل (%)
N <sup>۱</sup>	۱۰۹	۲۹۰	۴۵۷/۲	۹
N <sup>۲</sup>	۱۴۳	۴۲۰	۴۵۱/۲	۹/۲
N <sup>۳</sup>	۱۷۹	۷۵۰	۲/۵۲۴	۶/۵۱
N <sup>۴</sup>	۹۳	۴۰۰	۲/۵۱۴	۶/۸۸
N <sup>۵</sup>	۹۵	۳۴۰	۴۸۳/۲	۸
N <sup>۶</sup>	۹۹	۵۰۰	۲/۴۷۵	۸/۰۳
N <sup>۷</sup>	۸۵	۲۸۰	۲/۵۱۸	۶/۷۴
N <sup>۸</sup>	۱۲۳	۵۶۰	۲/۵۱۹	۶/۷
N <sup>۹</sup>	۱۵۶	۷۰۰	۲/۴۸۳	۸/۰۳
*N <sup>۱۰</sup>	۳۸	۱۵۰	۲/۶۰۴	۳/۵۵



شکل (۲) تست رامان نمونه Al-1 wt% Gr که به مدت ۱۰ ساعت آسیاب شده

با توجه به تصاویر SEM مشاهده می‌شود ذرات پودر در ابتدای زمان آسیاب شکل ورقه‌ای دارند که به تدریج با افزایش زمان آسیاب پودرها از ورقه‌ای به شبه‌کروی تغییر شکل می‌دهند. نتایج حاصله از تست‌های استحکام فشاری، سختی و چگالی سنجی در جدول ۲ آورده شده است. به منظور بررسی تاثیر گرافن بر استحکام

# علوم و فناوری نانو

نتایج نشان می‌دهد در دمای تقووشی  $400^{\circ}\text{C}$  سختی برابر  $120\text{BHN}$ ، در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  برابر  $109\text{BHN}$  و در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  سختی بدست آمد برابر  $131\text{BHN}$  می‌باشد. که با افزایش دما از  $400$  به  $450^{\circ}\text{C}$  سختی کاهش و مجدداً با افزایش دما به  $500^{\circ}\text{C}$  سختی افزایش می‌یابد که از دلایل این امر می‌توان به این مورد اشاره نمود که با افزایش دما تا  $450^{\circ}\text{C}$  رشد دانه در داخل ساختار افزایش می‌یابد و کاهش سختی در اثر کاهش مرزدانه و بازیابی نابجایی‌ها غلبه می‌کند بر افزایش سختی در اثر کاهش تخلخل و افزایش چگالش پودر و همچنین با افزایش دما به  $500^{\circ}\text{C}$  سختی ناشی از فشرده شدن پودرها غلبه می‌کند بر کاهش سختی ناشی از افزایش اندازه دانه و بازیابی نابجاییها که این امر باعث افزایش سختی در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  می‌شود.

## نتیجه‌گیری

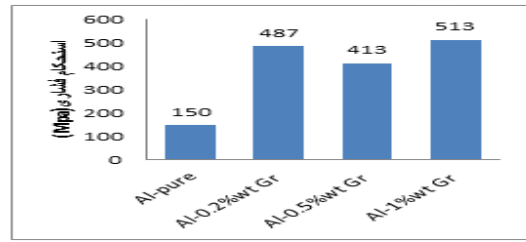
نتایج بیان می‌کند که بالاترین استحکام فشاری ( $513\text{MPa}$ ) در  $1$  درصد گرافن و ( $570\text{MPa}$ ) در  $500^{\circ}\text{C}$  بدست آمد است. بالاترین سختی ( $144\text{BHN}$ ) در  $2, 3$  درصد گرافن و ( $131\text{BHN}$ ) در  $500^{\circ}\text{C}$  بدست آمد است. با توجه به نتایج بدست آمده نتیجه می‌شود که از گرافن می‌توان به عنوان یک فاز تقویت کننده مناسب در کامپوزیت های زمینه آلومینیمی استفاده نمود.

## مراجع

[۱]. Geim, a K., Novoselov, K. S, "The Rise of Graphene", *Nature Materials* Vol. 6, (۲۰۰۷), ۱۸۳-۱۹۱.

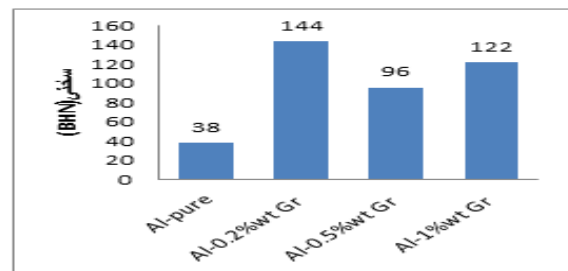
[۲]. V. Sing, D. Joung, L. Zhai, S. Das, S.L. Khondakev, S. Seal "Graphene based". (۲۰۱۱).

[۳]. S.F. Bartolucci, J. Paras, M.A. Rafiee, J. Rafiee, S. Lee, D. Kapoor, N. Koratkar, "Aluminum-Graphene nano composites". *Materials science and Engineering*. ۵۲۸(۲۷) (۲۰۱۱), ۷۹۳۳-۷۹۳۷.



شکل (۴): تاثیر درصد گرافن بر استحکام فشاری نانو کامپوزیت آلومینیوم-گرافن.

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که حضور گرافن باعث افزایش چشمگیر در استحکام فشاری شده است و مقدار بهینه گرافن در این تحقیق  $1$  درصد می‌باشد. در دمای تقووشی  $400^{\circ}\text{C}$  استحکام فشاری بدست آمد برابر  $443\text{MPa}$ ، در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  برابر  $400\text{MPa}$  و در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  استحکام فشاری بدست آمد برابر  $570\text{MPa}$  می‌باشد. با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش دما از  $400$  به  $450^{\circ}\text{C}$  استحکام کاهش و مجدداً با افزایش دما به  $500^{\circ}\text{C}$  افزایش می‌یابد که از دلایل این امر می‌تواند با افزایش دما تا  $450^{\circ}\text{C}$  رشد دانه در داخل ساختار افزایش می‌یابد و کاهش استحکام در اثر کاهش مرزدانه و بازیابی نابجاییها غلبه می‌کند بر افزایش استحکام ناشی از کاهش تخلخل و افزایش چگالش پودر و همچنین با افزایش دما به  $500^{\circ}\text{C}$  استحکام ناشی از فشرده شدن پودرها غلبه می‌کند بر کاهش استحکام ناشی از افزایش اندازه دانه و بازیابی نابجاییها که این امر باعث افزایش استحکام در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  می‌شود.



شکل (۶): تاثیر درصد گرافن بر سختی نانو کامپوزیت آلومینیوم-گرافن.