

تأثیر گرافن بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت آلومینیوم / گرافن

علی محمد بیگی^۱، محمد ذاکری^۲، علی نظری^۳

(۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد ساوه، گروه مهندسی مواد، ساوه، ایران (a.mohammadbeigy@yahoo.com)

(۲) استادیار، پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران

(۳) استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، گروه مهندسی مواد، ساوه، ایران

Effect of graphene on mechanical properties of nanocomposite alumi - num / graphene

Ali Mohammadbeigy, Mohammad Zakeri, Ali Nazari

^۱- Msc Material Engineering, Material Engineering Group, Islamic Azad University, Saveh, Iran

^۲- Associate professor ,Research of Ceramic, Material And Energy Research Center, Karaj, Iran

^۳- Associate Professor ,Islamic Azad University ,Material Engineering Group, Saveh , Iran

چکیده

در این پژوهش برای ساخت این نانوکامپوزیت از روش آلیاژسازی مکانیکی و پرس گرم استفاده شد و نمونه های تست فشار ساخته شد. برای این منظور عملیات آلیاژسازی مکانیکی پودرهای مذکور به مدت حداکثر ۱۰ ساعت درون آسیاب گلوله ای سایشی و تحت اتمسفر گاز آرگون انجام شد. سپس ریز ساختار نمونه ها توسط XRD, RAMAN و SEM مورد بررسی قرار گرفت، همچنین جهت بررسی خواص مکانیکی، از نمونه ها تست سختی برینل و استحکام فشاری گرفته شد. نتایج بدست آمده نشان دهنده بهبود خواص مکانیکی می باشد مقایسه آلومینیوم خالص، آلومینیوم خالص با ۱۰ ساعت آسیاب کاری و نانوکامپوزیت آلومینیوم / گرافن نشان دهنده افزایش سختی در حدود BHN ۱۰۹ که بیش از دو برابر مس خالص می باشد و استحکام فشاری این نانوکامپوزیت ۳۰۰ MPa شده است.

باشد.

کلید واژه ها : نانوکامپوزیت، آلیاژسازی مکانیکی، گرافن.

Abstrac :

In this study, to produce this nano composite was used method mechanical alloying and hot pressing and were made pressure test samples. For this purpose, the mechanical alloying powders mentioned a maximum period of 10 hours in a ball mill abrasion was performed under argon atmosphere. The microstructure of the samples by RAMAN, XRD and SEM were examined, as well as to evaluate the mechanical properties, Brinell hardness test, and compressive strength of the samples were taken. Results show improved mechanical properties. Compared to pure aluminum, pure aluminum with 10 hours mill and Al/ graphene nanocomposite shows the increasing hardness (109 BHN) and increasing compressive strength(300MPa)in samples containing graphene is 0,2 percent

Keywords: nanocomposite , mechanical alloying, graphene

درصد گرافن و روش ساخت اشاره نمود [۱۵].

هدف ما در این تحقیق استفاده از گرافن با کیفیت بالاتر و نقوص کمتر به منظور جلوگیری از تشکیل کاربید آلومینیوم می باشد.

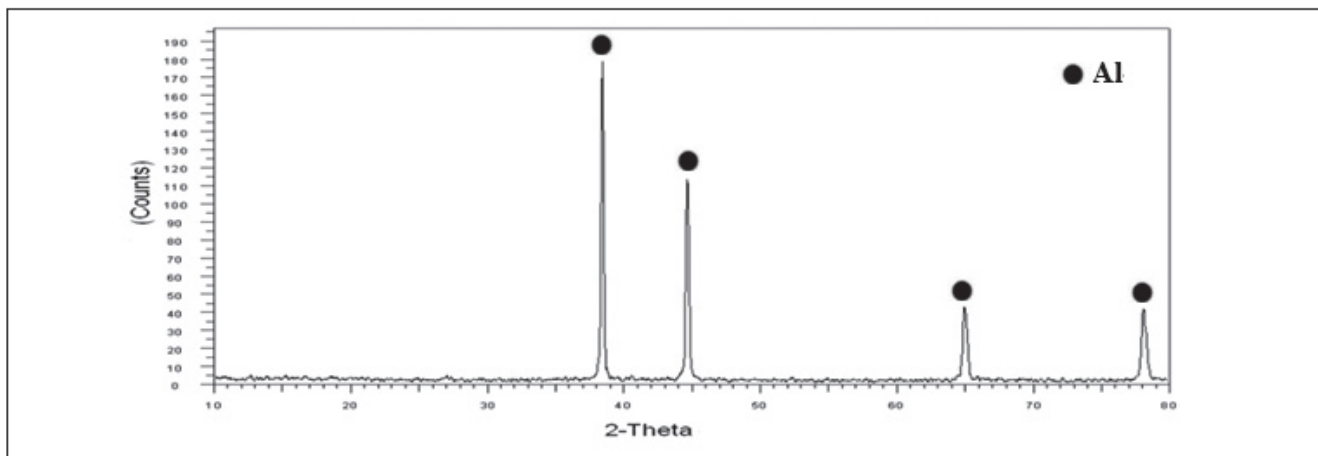
۲- مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از پودرهای آلومینیوم (Al) با خلوص ۹۹/۹٪ ساخت شرکت بایر آلمان با اندازه دانه کمتر از ۲۰ میکرون و همچنین پودر گرافن با خلوص ۹۹٪ از شرکت نانو ساختار آویژه (نانو ساو) با تعداد لایه $20 < n$ استفاده شده است. برای تهیه نمونه آلومینیوم خالص و آلومینیوم/گرافن به روش آلیاژسازی مکانیکی، مراحل زیر به ترتیب انجام گرفت :

در ابتدا پودرهای آلومینیوم خالص و آلومینیوم و گرافن با نسبت های وزنی مشخص شده همراه با ۲ درصد وزنی اسیداستئاریک به عنوان کنترل کننده فرآیند (PCA) با نسبت وزنی گلوله به پودر ۱۰:۱ با قطر گلوله ۱۰ میلیمتر در دستگاه آسیاب گلوله ای سایشی با محفظه آبگرد با سرعت چرخش ۲۵۰ دور بر دقیقه و تحت اتمسفر گاز آرگون بطور مکانیکی برای مدت ۱۰ ساعت آسیاب کاری شدند و آلیاژ آلومینیوم/گرافن بدست آمد. برای پرس از یک قالب فولادی گرم کار با قطر داخلی ۱۲ میلیمتر که تحت آبکاری و سخت کاری سطحی قرار گرفته بود استفاده شد. در این مرحله پودرها در فشار ۴۰۰ مگاپاسکال و دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد پرس گرم شده و نمونه تست فشار تولید شد. برای بررسی تشکیل فازهای تشکیل شده از دستگاه XRD ساخت شرکت Bruker AXS مدل D8-Advance با زاویه پراش ۱۰ تا ۸۰ درجه، ولتاژ ۴۰ کیلو ولت، آمپر ۳۰ میلی آمپر و $k\alpha$ برابر ۱.۵۴ انگستروم استفاده شد. برای ردیابی گرافن از دستگاه طیف سنج رامان ساخت شرکت BRUKER دارای دتکتور CCD، دقت اندازه گیری 3 cm^{-1} ، لیزر آرگون با طول موج ۷۸۵ nm و گستره طیف سنجی $3500-200 \text{ cm}^{-1}$ استفاده شد. و همچنین جهت بررسی مورفولوژی پودرها از دستگاه SEM مدل JXA-۸۴۰ ساخت شرکت JEOL با ولتاژ ۱۰۸ کیلو ولت، جریان DC و خلأ Torr 10^{-2} استفاده شد. چگالی نمونه های تولید شده با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم به روش ارشمیدس به دست آمد. در ادامه بررسی استحکام فشاری نمونه ها بر اساس استاندارد E9-۸۹a [۱۶]، با نسبت ارتفاع به قطر ۱/۵ با نرخ کرنش ۰/۰۱/۱، صورت گرفت، قطر نمونه ها در این پژوهش ۱۲ میلیمتر و ارتفاع آنها ۱۸ میلیمتر در نظر گرفته شد و تمام نمونه ها دارای ابعاد و سطح مقطع مساوی تحت بار 0.15 Kg قرارگرفتند. در نهایت برای بررسی سختی نمونه ها از دستگاه سختی سنجی برینل تحت بار ۶۰۰ N و قطر ساچمه ۲/۵ میلیمتر استفاده شد.

آلومینیوم با قیمت کم و دانسیته پایین در مقایسه با سایر آلیاژهای سبک مثل منیزیم و تیتانیوم، بیشترین استفاده به عنوان زمینه در کامپوزیت های زمینه فلزی را به خود اختصاص داده است. همچنین آلیاژهای آلومینیوم به واسطه کاربرد گسترده ای که در صنایع مختلف، از صنایع خودرو و هوا فضا تا وسایل تفریحی دارند، کاملاً شناخته شده اند و می توان تلفیق مناسبی از استحکام، چگالی و انعطاف پذیری را بدست آورد [۱]. ولی استفاده از آلومینیوم و آلیاژهای آن به خاطر استحکام تسلیم پائینی که دارند محدود شده است [۲]. کامپوزیت های پایه آلومینیومی (AMC) به عنوان یک ماده جایگزین عالی برای دستیابی به خواص مکانیکی بهتر در نظر گرفته می شوند [۳]. به منظور دستیابی به خواص مکانیکی مطلوب ذرات بسیار ریزی باید برای تقویت بخشی استفاده شوند [۴]. کاهش اندازه ذرات تقویتی در افزایش استحکام مکانیکی کامپوزیت تاثیر دارد [۵ و ۶]. گرافن^۲ ورقه ای دو بعدی از اتم های کربن در یک پیکربندی شش ضلعی است [۷ و ۸]. گرافن به عنوان یکی از آلوتروپ های کربن در یک شبکه شش وجهی (لانه زنبوری) با فاصله پیوند کربن- کربن و ضخامت ۰/۱۴۲ نانومتر صفحات مطرح است [۹]. گرافن به علت داشتن خواص فوق العاده نظیر مدول یانگ بالا (۱۱۰۰GPa)، مقاومت بالادر برابر شکست (۲۱۵GPa) و چگالی پایین [۱۰] می تواند یک ماده مناسب به عنوان فاز تقویت کننده در کامپوزیت های زمینه آلومینیومی باشد.

کامپوزیت های زمینه آلومینیومی توسط توزیع ذرات سخت و تقویت کننده در آلومینیوم با تکنیک های حالت مایع یا جامد بدست می آیند [۱۱]. در حالت مایع ذرات تقویت کننده به فلز مایع توسط چرخش قبل از ریخته گری اضافه می شوند [۱۲]. در این حالت توزیع ذرات غیر یکنواخت خواهد بود [۱۳]. در سوی دیگر کامپوزیت های زمینه آلومینیومی را می توان به آسانی در حالت جامد توسط تکنیک های متالورژی پودر تولید نمود. توسط آلیاژسازی مکانیکی این امکان برای توزیع ذرات ریز و توزیع همگن آنها وجود دارد [۱۴]. مراحل مختلف ساخت در متالورژی پودر شامل ترکیب کردن، فشرده سازی و تفجوشی مخلوط پودر است. در پژوهشی که توسط استفان بارتولوچی^۳ و گروهی از همکارانش در مرکز تحقیقات ارتش ایالات متحده امریکا انجام شد، نانو کامپوزت $Al-0.1\%wtGr$ به روش آلیاژسازی مکانیکی، پرس ایزواستاتیک گرم و اکستروود تولید شد. گرافن استفاده شده در این پژوهش به روش شیمیایی از گرافیت بدست آمده است. که نتایج حاصله بیانگر نزول خواص مکانیکی در اثر حضور گرافن می باشد، که از علل آن می توان به حضور کاربید آلومینیوم (Al_4C_3) در مرز دانه به دلیل نقوص موجود در گرافن مصرفی، بهینه نبودن



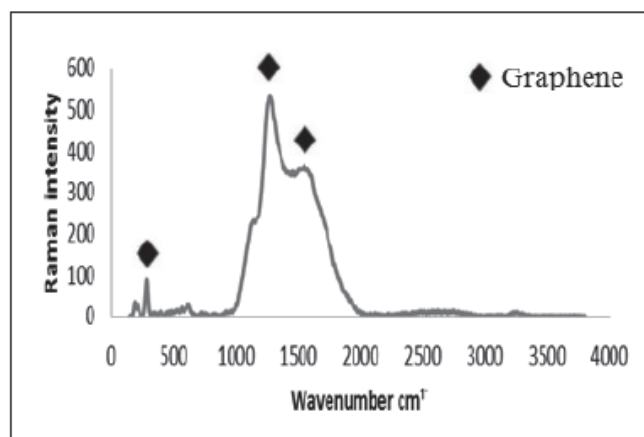
شکل (۱): الگوی پراش اشعه X برای پودر Al-0.2wt% Graphene در زمان ۱۰ آسیاب کاری آسیاب

شده، تست رامان گرفته شد که نتایج آن در شکل ۲ آورده شده است. همانطور که در شکل (۲) مشاهده می شود دو پیک بدست آمده است که نشان دهنده وجود گرافن در نانو کامپوزیت Al-0.2wt% Graphene می باشد.

در این آنالیز 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 فوق گزارش شده است که نتایج بیانگر حضور گرافن در ساختار می باشد. نتایج حاصل از تست رامان با نتایج حاصله از کار دیگران همخوانی دارد [۱۵].

همچنین به منظور ارزیابی مورفولوژی ساختار از پودر SEM در زمان های مختلف آسیاب تصاویر SEM گرفته شد که تصاویر آن در شکل ۳ آورده شده است. همانطور که در اشکال مشاهده می شود ذرات پودر در ابتدای زمان آسیاب شکل ورقه ای دارند که به تدریج با افزایش زمان آسیاب پودرها از ورقه ای به شبه کروی تغییر شکل می دهند. در زمان های ابتدایی آسیاب فرایند جوش سرد غالب است و به همین دلیل ذرات به صورت لایه ای بر روی هم قرار می گیرند و همچنین با افزایش زمان آسیاب به علت افزایش نقوص از جمله نابجاییها کار سختی صورت گرفته و پدیده شکست ذرات رخ می دهد و پدیده شکست با افزایش زمان آسیاب بر جوش سرد غالب شده و ذرات پودر، کروی و شبه کروی می شوند. در حین آلیاژسازی مکانیکی این دو پدیده یعنی جوش سرد و شکست ذرات پودر به طور مکرر انجام می شود تا ساختار پس از مدتی به حالت پایا برسد [۱۷].

چگالی نمونه های پودری پرس شده بعد از زینتر کردن بر طبق رابطه ارشمیدس و همچنین درصد تخلخل نمونه ها نیز بدست آمده است. نتایج محاسبات در جدول ۱ ارائه شده است. ضمناً برای محاسبه درصد تخلخل نیاز به داشتن چگالی تئوری نمونه ها است



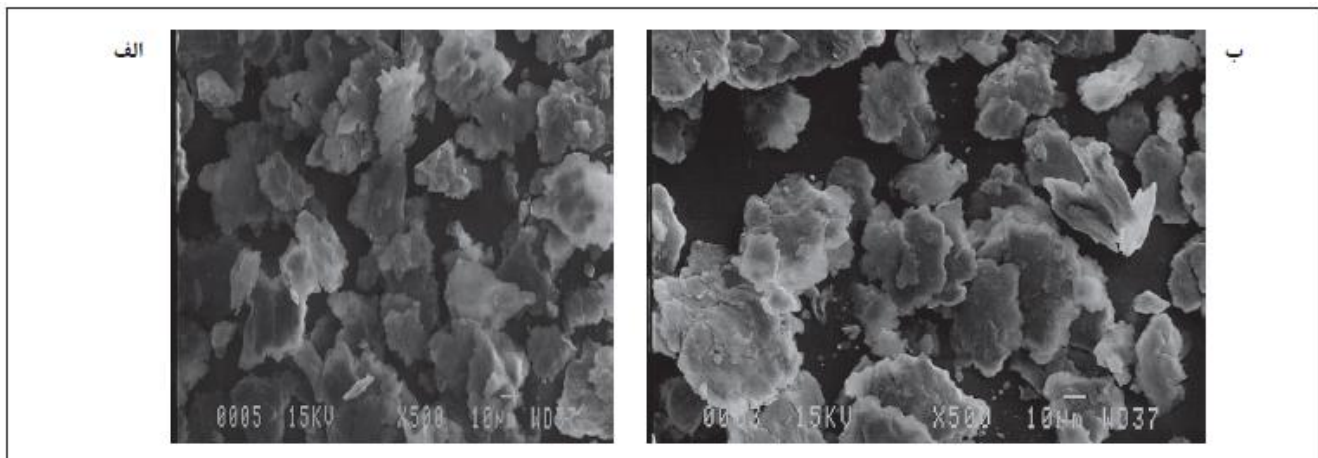
شکل (۲): نتایج تست رامان نمونه Al-0.2wt%Gr که به مدت ۱۰ ساعت آسیاب شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی ساختار

شکل ۱ الگوی پراش اشعه X برای پودر نمونه Al-0.2wt% Graphene که به مدت ۱۰ ساعت آسیاب شده را نشان میدهد. در شکل، فقط پیک های مربوط به آلومینیم مشاهده می شود و هیچ پیک دیگری مانند پیک های مربوط به کاربید آلومینیم و گرافن مشاهده نمی شود. که عدم وجود پیک کاربید آلومینیم بیانگر این است که در حین آسیاب کاری کاربید آلومینیم تشکیل نشده است و همچنین از دلایل عدم وجود پیک گرافن می توان به دلایلی نظیر درصد کم گرافن، توزیع مناسب گرافن و عدم توانایی XRD در ردیابی گرافن اشاره نمود.

شکل (۲) آنالیز رامان را برای نمونه پودری آلومینیم ۰.۲ درصد گرافن را نشان می دهد در این تحقیق به منظور ردیابی گرافن از نمونه Al-0.2wt% Graphene که به مدت ۱۰ ساعت



شکل (۳) - مورفولوژی ذرات پودر الف (پودر میکرو ب) پودر ۱۰ ساعت آسیاب شده

جدول (۱): چگالی و درصد تخلخل نمونه ها.

شماره نمونه	چگالی عملی (gr/cm ³)	چگالی تئوری (gr/cm ³)	چگالی نسبی (%)	درصد تخلخل (%)
آلومینیوم خالص میکرو	۲/۶	۲/۷	۹۶	۴
آلومینیوم خالص ۱۰ ساعت آسیاب کاری شده	۲/۴۸	۲/۷	۹۲	۸
Al-0/2wt% Graphene	۲/۴	۲/۷	۸۹	۱۱

نسبت به آلومینیوم خالص میکرو برخوردار است که این افزایش استحکام ناشی از زمان آسیاب کاری و افزایش تعداد نایبجایی ها می باشد همچنین نتایج نشان می دهد که تنها با افزودن ۰/۲ درصد گرافن به آلومینیوم و ۱۰ ساعت آسیاب کاری استحکام افزایش قابل توجهی پیدا کرد. یکی از دلایل افزایش استحکام در نانوکامپوزیت ها حضور فاز تقویت کننده در زمینه می باشد. در یک سیستم کامپوزیت فلزی انتقال نیرو از زمینه به فاز تقویت کننده و نیز افزایش دانسیته نایبجایی ها موجب افزایش استحکام فلز زمینه می شود. نتایج بدست آمده از استحکام فشاری در شکل ۴ آمده است.

در شکل ۵ نمودار کرنش شکست نمونه ها آورده شده است. با توجه به نمودار مشاهده میشود که در اثر آسیاب کاری کرنش شکست کاهش می یابد و همچنین حضور گرافن نیز باعث کاهش کرنش شکست شده است که این موضوع می تواند به علت حضور گرافن که فازی سخت و ترد است، باشد.

۴- نتیجه گیری:

با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش نتیجه می شود

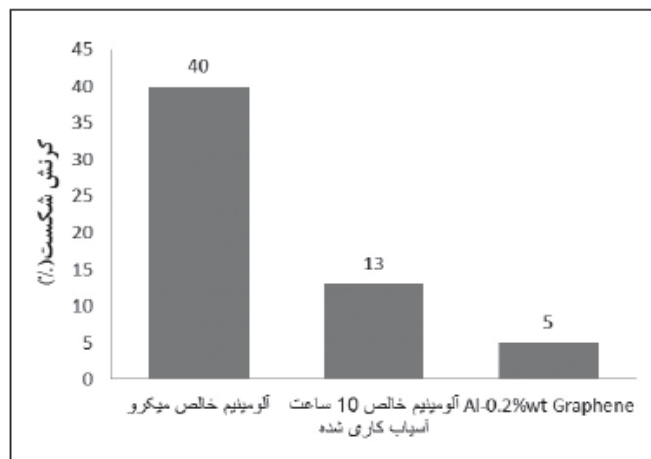
که البته با توجه به مقادیر کم گرافن (۰/۲ درصد وزنی) از محاسبه چگالی تئوری نمونه ها صرفنظر شده و همان چگالی آلومینیوم خالص در نظر گرفته شده است. با توجه به جدول زیر مشاهده می شود که حضور گرافن باعث افزایش درصد تخلخل شده است که احتمال می رود حضور گرافن باعث خلل در امر زینتر شده است.

سختی نمونه ها بعد از زینتر مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در جداول ۲ آمده است. همانطور که از نتایج بر می آید نمونه Al-0,۲wt% Graphene از سختی بالاتری نسبت به دو نمونه دیگر برخوردار می باشد که به خوبی تاثیر گرافن بر روی نانو کامپوزیت آلومینیوم/ گرافن را نشان می دهد که دلیل این افزایش سختی میتواند حضور ذرات تقویت کننده در داخل ساختار باشد که توزیع مناسب و یکنواخت این ذرات در داخل ساختار باعث میشود نایبجایی هایی که در اثر تنش وارده شروع به حرکت کرده اند پس از برخورد به این ذرات متوقف شده که برای عبور از این ذرات به تنش های بالاتری نیاز دارند. و همچنین زمان آسیاب کاری را می توان در سختی بالاتر نمونه آلومینیوم خالص ۱۰ ساعت آسیاب کاری شده در مقایسه با نمونه آلومینیوم خالص میکرو مشاهده نمود.

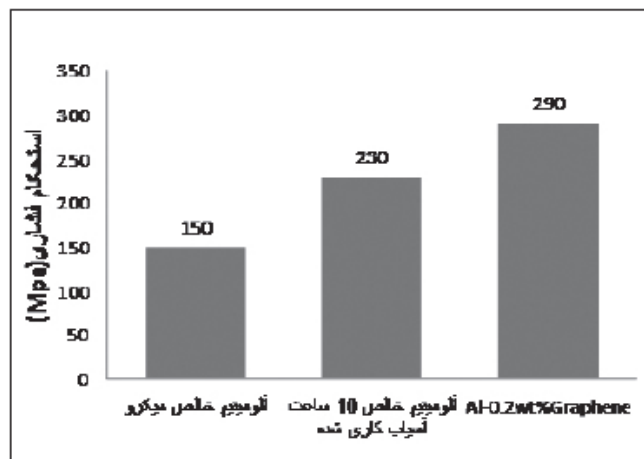
با بررسی نتایج استحکام فشاری مشخص شد که نمونه آلومینیوم خالص ۱۰ ساعت آسیاب کاری شده از استحکام بیشتری

جدول (۲): سختی نمونه ها.

شماره نمونه	سختی (BHN)
آلومینیوم خالص میکرو	۳۸
آلومینیوم خالص ۱۰ ساعت آسیاب کاری شده	۵۲
Al-0/2wt% Graphene	۱۰۹



شکل (۵)-نمودار کرنش شکست



شکل (۴): استحکام فشاری نمونه ها

حضور گرافن به عنوان فاز تقویت کننده باعث افزایش استحکام ویژه در نانو کامپوزیت های زمینه آلومینیمی می شود.

که از گرافن میتوان به عنوان یک فاز تقویت کننده مناسب در نانو کامپوزیت های زمینه آلومینیمی استفاده کرد، چرا که

۵- مراجع :

- [۱]. J. M. Torralba, C. E. da Costa and F. Velasco, Journal of Materials Processing Technology, "P-M aluminum matrix composites: an overview", ۱۳۳, (۲۰۰۳), ۲۰۳-۲۰۶.
- [۲]. B. Bostan, A.T. zdemir, A. Kalkanli, Powder Metall. ۴۷, (۲۰۰۴), ۳۷-۴۲.
- [۳]. L. Ceschini, I. Boromei, G. Minak, A. Morri, F. Tarterini, Compos. Sci. Technol. ۶۷ (۲۰۰۷) ۶۰۵-۶۱۵.
- [۴]. A. Dolata-Grosz, J. Sleziona, B. Formanek, J. Mater. Process Technol. ۱۷۵, (۲۰۰۶)
- [۵]. J.B. Fogagnolo, M.H. Robert, J.M. Torralba, Mater. Sci. Eng. A ۴۲۶ (۲۰۰۶) ۱۹۲-۱۹۷. ۸۵-۹۴.
- [۶]. Z. Razavi Hesabi, A. Simchi, S.M. Seyyed Reihani, Mater. Sci. Eng. A ۴۲۸ (۲۰۰۶) ۱۵۹-۱۶۸.
- [۷]. Geim, A. K., "Graphene: Status and Prospects", Science, Vol. ۳۲۴, (۲۰۰۹), ۱۵۳۰-۱۵۳۴.
- [۸]. Geim, a K., Novoselov, K. S., Nature Materials, "The Rise of Graphene", Vol. ۶, (۲۰۰۷), ۱۸۳-۱۹۱.
- [۹]. Slonczewski JC, Weiss PR. Phys Rev, "Band structure of graphite". ۱۹۵۸; ۱۰۹: (۲۷۲).
- [۱۰]. V. Sing, D. Joung, L. Zhai, S. Das, S.L. Khondakev, S. Seal, "Graphene based.". (۲۰۱۱).
- [۱۱]. S. Ozden, R. Ekici, F. Nair, Composites Part A ۳۸, (۲۰۰۷), ۴۸۴-۴۹۴.
- [۱۲]. S.-L. Zhang, Y.-T. Zhao, G. Chen, X.-N. Cheng, Q.-X. Dai, J. A.C. ۴۲۹, (۲۰۰۷), ۱۹۸-۲۰۳.
- [۱۳]. Y. Ozcatalbas, Comp. Sci. Technol. ۶۳, (۲۰۰۳), ۵۳-۶۱.
- [۱۴]. H.T. Son, T.S. Kim, C. Suryanarayana, B.S. Chun, Mater. Sci. Eng. A ۳۴۸, (۲۰۰۳), ۱۶۳-۱۶۹.
- [۱۵]. S.F. Bartolucci, J. Paras, M.A. Rafiee, J. Rafiee, S. Lee, D. Kapoor, N. Koratkar, Materials science and Engineering "Aluminum-Graphene nano composites". A. ۵۲۸(۲۷), (۲۰۱۱), ۷۹۳۳-۷۹۳۷.
- [۱۶]. William E. Luecke and Stephen M. Graham and Matthew A. Adler Repeatability and reproducibility of compression strength measurements conducted according to ASTM E^۹ (۲۰۱۰).

[۱۷]. عنایتی، محمد حسین، ۱۳۸۶، "مواد نانو ساختار"، دانشگاه صنعتی اصفهان.

