Archive of SID

ساخت و بررسی خصوصیات فیزیکی کامپوزیت آلومینیوم تقویت شده با نانولوله کربنی

حسینی، علی اصغر[۱] ؛رجایی، هاجر[۱] ؛ قهارپور، فاطمه [۱]؛ عباسی ، مجید[۲]

[۱]گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر

۲دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

چکیده

دراین تحقیق کامپوزیت زمینه آلومینیوم تقویت شده با نانولوله های کربنی به روش پرس کاری و تفت جوشی در محیط خلأ ساخته شد. در ابتدا اثر زمان و دمای تفت جوشی در محیط خلأ بر روی چگالی، درصد تخلخل و سختی نمونه ها مورد بررسی قرار گرفت و سپس تغییرات خواص فیزیکی کامپوزیت مانند چگالی و سختی نمونه ها با تغییر درصد وزنی نانولوله ها مورد آزمایش واقع شد. نتایج نشان داد چگالی و سختی کامپوزیت با افزایش دما و زمان تفت جوشی در خلأ و همچنین با افزایش درصد وزنی نانولوله ها، افزایش و درصد تخلخل کامپوزیت، کاهش می یابد.

Fabrication and investigation of physical properties of Aluminum composite reinforced by carbon nanotube

Hosseinei, Ali Asghar[1]; Rajaei, Hajar[1]; Ghaharpour, Fateme[1]; Abbasi, Majid[2]

[1]Physics Department, Mazandaran University, Babolsar

[2] Materials and Metallurgy Engineering Department, Iran University of Science and Technology, Tehran

Abstract

Carbon nanotube reinforced Aluminum matrix composite was fabricated by pressing followed sintering in vacuum media techniques. First the effects of sintering temperature and time on density, porosity and hardness and then variation of physical properties such as density and hardness with percentage of CNT have been investigated. The results shown that increasing of the sintering temperature and time and increasing of the CNT percentage increased the density and hardness of composite and decreased the porosity.

مقدمه

در سالهای اخیر، نانولوله های کربنی(CNTs) به خاطر خواص منحصر به فرد فیزیکی، شیمیایی، الکترونیکی و مکانیکی، توجه بسیاری از محققان را در زمینه های مختلف علمی به خود جلب کرده اند. CNTs، به علت داشتن خصوصیات جالبی مانند نسبت طول به قطر بالا، وزن کم، پایداری شیمیایی و حرارتی بالا، مدول یانگ ۵ برابر و استحکام کششی ۱۰۰ برابر قویترین فلزات را دارا هستند [۱]. استحکام فوق العاده و وزن کم CNTs، آنها را گزینه مناسبی برای تقویت کامپوزیت ها مطرح کرده است.

تحقیقات زیادی بر روی بهبود خصوصیات کامپوزیت های زمینه پلیمری[۲] و سرامیکی[۳] با افزودن CNTs در حال انجام است ولی در مورد کامپوزیت های زمینه فلزی، توده شدن نانولوله های کربنی و وجود برهمکنش های ناخواسته در سطح مشترک زمینه فلزی و نانولوله وهمچنین پیچیدگی های مربوط به روشهای ساخت کامپوزیت زمینه فلزی، باعث شده که تحقیقات کمتری در این زمینه انجام شود. با این وجود گزارشاتی از ساخت کامپوزیت زمینه آلومینیم تقویت شده با نانولوله های کربنی با روشهای اسپری پلاسمایی، نفوذ بدون فشار و آلیاژسازی مکانیکی وجود دارد [۴-۶]. اخیراً نتایج موفقیت آمیزی در مورد ساخت این کامپوزیت ها با روشهای مختلف متالورژی پودر گزارش شده است[۷-۹].

در تحقیق حاضر، کامپوزیت CNT/Al با روش متالورژی پودر ساخته شد. در ضمن فرایند ساخت، اثر دما و زمان تف جوشی در

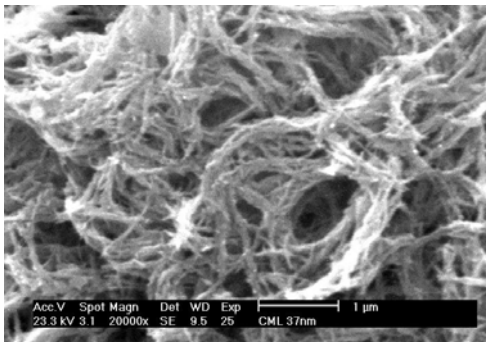
www.SID.ir

Archive of SID

محیط خلأ، بر روی چگالی و سختی کامپوزیت و همچنین نحوه تغییرات چگالی و سختی با درصد CNT، مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت ریز ساختار کامپوزیت توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM)، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

روش تحقیق

در این فرایند از پودر آلومنیوم مرک خالص با اندازه متوسط ذرات ۵۰ میکرومتر و پودر نانولوله کربنی، برای تهیه پودر کامپوزیت استفاده شده است. نانولوله های کربنی مورد استفاده در این تحقیق به روش تخلیه قوس الکتریکی در محلول NaCl، در آزمایشگاه فناوری نانو دانشکده علوم دانشگاه مازندران تولید شده است[۱۰]. در شکل ۱ تصویر SEM از نانولوله های کربنی، نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر SEM از نانولوله های استفاده شده در نانوکامپوزیت

به منظور تهیه آمیزه مناسب، پودر آلومینیوم و نانولوله با نسبت های مشخص توسط یک همزن دستی، با یکدیگر مخلوط شدند. برای توزیع بهتر نانولوله‌ها در بین ذرات آلومینیم از یک آسیاب گلوله‌ای ماهواره‌ای استفاده شد. پس از تهیه ترکیب‌های مورد نظر، فرایند متراکم کردن توسط یک دستگاه پرس هیدرولیکی تحت نیروی ۱۰۰ تنی و به مدت ۳۰ ثانیه انجام شد. نمونه‌های خام بدست آمده دارای قطر حدود ۱۰mm و ارتفاع حدود ۵mm بودند. فرایند تفت جوشی نمونه ها نیز در یک کوره عملیات حرارتی مدل Exciton و در محیط خلأ انجام شد.

چگالی کلیه نمونه‌ها به روش ارشمیدوس و درصد تخلخل آنها با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد.

$$\text{درصد تخلخل} = (1-\frac{\rho_r}{\rho_T})\times 100 \qquad (۱)$$

که درآن ρ_r چگالی واقعی و ρ_T چگالی تئوری کامپوزیت است. برای انجام تست سختی، نمونه ها ابتدا مانت شده سپس به وسیله خمیر الماسه ۵ میکرون پولیش می گردند تا سطح کاملاً صافی برای اندازه گیری سختی و تحلیل های ریز ساختاری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) آماده شود.

نتایج وبحث

در ابتدا برای تعیین شرایط بهینه عملیات تفت جوشی، نمونه ها در دو دمای متفاوت ۴۸۰ و ۵۶۰°C و در مدت زمانهای مختلف ۴۵ و ۹۰ دقیقه در محیط خلأ تفت جوشی شدند. عملیات حرارتی نمونه ها در ۱۰۰°C اندکی متوقف شده است تا مواد فرار موجود در نمونه ها مانند پارافین کاملاً خارج گردد. سپس چگالی و سختی نمونه ها، برای دو درصد وزنی مختلف از نانولوله ها اندازه گیری شد. نتایج حاصل در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- تغییرات چگالی و سختی با دما و زمان تفت جوشی

درصد وزنی CNT	دمای تفت جوشی(°C)	زمان تفت جوشی (s)	چگالی	درصد تخلخل	سختی (HV)
۰,۵	۴۸۰	۴۵	۲,۱۹	۱۸,۵۹	۳۶
۰,۵	۵۶۰	۴۵	۲,۲۱	۱۷,۸۴	۳۷,۳
۰,۵	۵۶۰	۹۰	۲,۲۲	۱۷,۴۲	۳۹,۴
۲,۵	۴۸۰	۴۵	۲,۱۱	۲۰	۴۲
۲,۵	۵۶۰	۴۵	۲,۲۲	۱۶,۲۳	۴۶,۲۷
۲,۵	۵۶۰	۹۰	۲,۲۸	۱۳,۹۶	۴۷,۹۳

همان طور که دیده می شود، چگالی نمونه ها با افزایش دما و زمان تفت جوشی، افزایش و متناسب با آن، درصد تخلخل آنها کاهش می یابد. در واقع، افزایش دما و زمان تفت جوشی و استفاده همزمان از محیط خلأ، سبب خروج مواد فرار و گازهای موجود

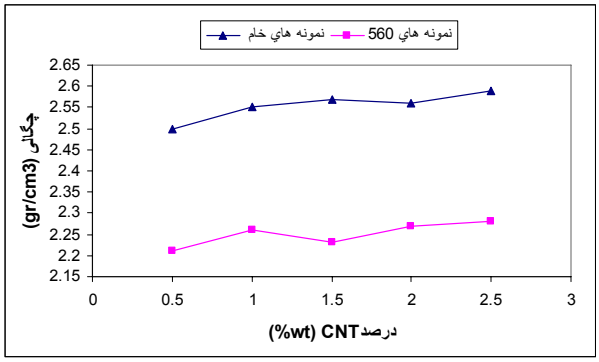
www.SID.ir

Archive of SID

در نمونه ها می شود. به این ترتیب با کاهش تخلخل و یا افزایش تراکم کامپوزیت، سختی آن نیز افزایش می یابد.

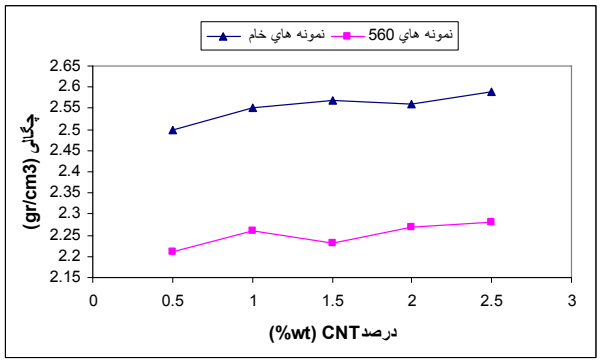
بر این اساس، برای بررسی تاثیر درصد وزنی نانولوله ها بر روی خواص نهایی کامپوزیت، نمونه ها به مدت ۹۰ دقیقه تا دمای $560\ ^{\circ}C$ در خلأ تقت جوشی شدند. پس از انجام فرایند تفت جوشی، کلیه نمونه ها به دقت توزین شدند. مشاهده شد که کلیه نمونه ها بین ۴,۳ تا ۵ درصد کاهش وزن داده و قطر و ارتفاع آنها اندکی افزایش یافته است. علت کاهش وزن نمونه ها خروج مواد فرار موجود در آنها در حین تفت جوشی می باشد. از علل افزایش ابعاد نمونه ها بعد از تفت جوشی، می تواند انبساط هوای فشرده شده بین ذرات و گسترش انفصال هرچه بیشتر فصل مشترک CNTs با ذرات آلومینیوم باشد. در واقع فصل مشترک CNTs با ذرات آلومینیوم به دلیل صاف بودن سطح تماس CNT با آلومینیوم در اثر تفت جوشی افزایش می یابد.

شکل ۲ نمودار چگالی نمونه های تفت جوشی شده برحسب درصد وزنی نانولوله ها و مقایسه آن با نمونه های خام را نشان می دهد. همانگونه که در شکل مشاهده می شود، در اثر تفت جوشی، چگالی نمونه ها کاهش می یابد. این پدیده ناشی از خروج مواد فرار موجود در نمونه ها و افزایش ابعاد نمونه ها می باشد.



شکل ۲ : نمودار تغییرات چگالی نمونه های تفت جوشی شده در دمای $560\ ^{\circ}C$ و مقایسه آن با نمونه های خام

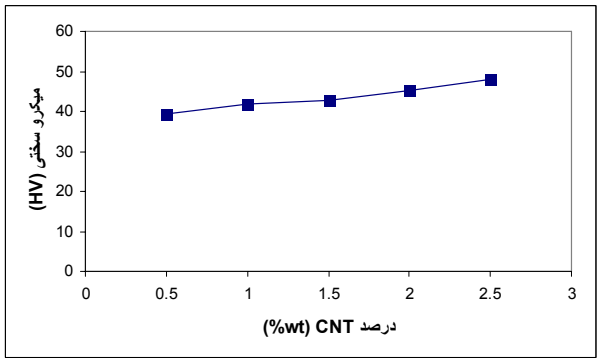
نمودار درصد تخلخل نمونه های تفت جوشی شده در دمای $560\ ^{\circ}C$ و مقایسه آن با نمونه های خام در شکل ۳ آمده است. علت کاهش چگالی و یا افزایش تخلخل در اثر تفت جوشی مربوط به وقوع دو مکانیزم مذکور، افزایش ابعاد (ناشی از انبساط هوای بین ذرات و گسترش انفصال سطح مشترک) و کاهش وزن نمونه ها (در اثر خروج مواد فرار) می باشد.



شکل ۳ : نمودار تغییرات درصد تخلخل نمونه های تفت جوشی شده در دمای $560\ ^{\circ}C$ و مقایسه آن با نمونه های خام

مورد دیگری که در شکل ۲ مشاهده می شود این است که چگالی نمونه ها (قبل و بعد از عملیات تفت جوشی)، با افزایش درصد وزنی نانولوله ها افزایش می یابد. براساس تئوری تقویت کنندگی نانولوله ها، با افزایش درصد وزنی نانولوله های کربنی تا زمانی که آنها به صورت یکسان در داخل زمینه پخش شوند، تخلخل های موجود در بین ذرات آلومینیوم را پر کرده و با متراکم تر کردن کامپوزیت، سبب افزایش چگالی آن می شوند.

شکل ۴ نمودار تغییرات سختی کامپوزیت بادرصد وزنی CNT را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود سختی کامپوزیت نیز با افزایش درصد وزنی CNT، افزایش می یابد.



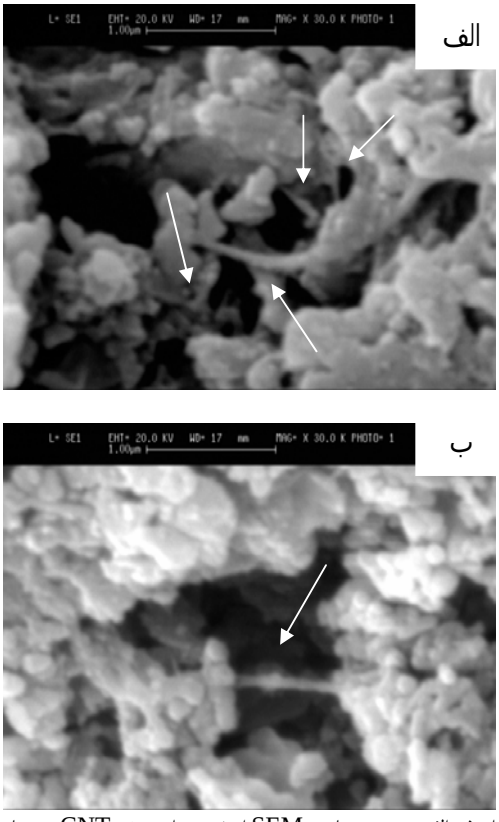
شکل۴- نمودار تغییرات سختی ویکرز با درصد وزنی CNT

www.SID.ir

Archive of SID

دلیل افزایش سختی را می توان به حضور CNT در ساختار کامپوزیت، توزیع یکنواخت آن در زمینه Al و افزایش چگالی همراه با کاهش تخلخل نسبت داد.

در شکل ۵- الف و ب، تصاویر SEM از ریز ساختار کامپوزیت نشان داده شده است. در این تصاویر پل زدن نانولوله ها در بین ذرات آلومینیوم به خوبی آشکار است. نانولوله ها با پل زدن در بین ذرات آلومینیوم، سبب پرشدن تخلخل ها و انتقال یکسان بار وارد بر کامپوزیت، در کل ساختار می گردند. به این ترتیب، نانولوله های کربنی با کاهش تخلخل وافزایش چگالی کامپوزیت، سبب افزایش سختی آن می شوند.



شکل ۵- الف و ب، تصاویر SEM از نحوه پل زدن CNTs در ساختار کامپوزیت

نتیجه گیری

کامپوزیت CNT/Al با آسیاب کاري و فشردن پودرهاي Al و CNT و تفت جوشي نمونه هاي خام در محیط خلأ تهیه شد. نتایج نشان داد افزایش دما و زمان تفت جوشی و همچنین استفاده از محیط خلأ، با خروج مواد فرار سبب افزایش چگالی و سختی کامپوزیت می شود. دمای ۵۶۰C° و زمان ۹۰ دقیقه، شرایط مناسبی برای تفت جوشی کامپوزیت CNT/Al در محیط خلأ می باشد. همچنین با افزایش درصد وزني CNTs، چگالي نمونه هاي خام و تفت جوشی شده، افزایش و متناسب با آن درصد تخلخل کاهش می یابد. با افزایش درصد وزنيCNTs و افزایش چگالی، سختی کامپوزیت نیز افزایش می یابد.

مراجع

[1] B. Demczyk, Y. Wang, et al, *Mater Sci Eng A* **334** (2002) 173.
[2] E.Thostenson, C. Li, C. T. Wei, Compos Sic Techno **659** (2005) 491.
[3] A. Peigney, C. Laurent, E. Flahaut, A. Rousset, Ceramics Int **26** (2000) 677.
[4]] T. Laha, A. Agarwal, et al, *Mater Sci Eng A* **381** (2004) 249.
[5] S. Zhou, X. Zhang, et al, *Composite A* **38** (2007) 301.
[6] A. Esawi, K. Morsi, et al, *Composite A* **38** (2007) 646. [7]
[7] R. Zhong, H. Cong, et al, *Carbon* 41 (2003) 851.
[8] C. Deng, D. Wang, et al, *Mater Sci Eng A* **444** (2007) 138.
[9] R. Perep, I. Estrada, *Journal Alloys Compounds* (in press).
[۱۰] رجایی، هاجر ؛ قهارپور، فاطمه ؛حسینی، علی اصغر ؛ عباسی، مجید ؛ دومین همایش دانشجویی فناوری نانو، دانشگاه کاشان، تابستان ۸۶ .

www.SID.ir