جلد 5، شماره 4، زمستان 97، ص‌ص 461- 468

نشریه علمی پژوهشی

علوم و فناوری **کامپوزیـــت**

http://jstc.iust.ac.ir

بررسی ریزساختار و سختی نانوکامپوزیت ریختگی آلومینیم 7068 تقویت شده با نانوذرات SiC

محمد علی پور[2,1]، رضا اسلامی فارسانی[3*]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مواد، دانشکده مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

2-استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز

3- دانشیار، دانشکده مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

* تهران، صندوق پستی 19395- 1999، eslami@kntu.ac.ir

اطلاعات مقاله

دریافت: 95/10/23

پذیرش: 96/6/30

کلیدواژگان:

نانوکامپوزیت ریختگی

نانوذرات کاربید سیلیسیم

ریخته گری گردابی

فرآوری مافوق صوت

چکیده

در این تحقیق، خواص مکانیکی و ریزساختار نانوکامپوزیت آلومینیم 7068 تقویت شده با 1، 2، 3 و 5 درصد نانوذرات کاربید سیلسیم (SiC) تولید شده به روش ریخته گری گردابی با کمک حباب زائی مافوق صوت بررسی شد. جهت اختلاط مناسب آلیاژ و نانوذرات از دستگاه مافوق صوت مجهز به سیستم خنک کننده با توان 2000 وات استفاده شد. همچنین برای مطالعات ریزساختاری، میکروسکوپ الکترونی روبشی بکار گرفته شد. مطالعات ریزساختاری نانوکامپوزیت نشان داد که حضور نانوذرات SiC باعث کاهش اندازه دانه می شود. اما در درصدهای بالای نانوذرات SiC (5% وزنی)، کاهش محسوسی در اندازه دانه ایجاد نمی‌شود. همچنین حضور نانوذرات و کاهش اندازه دانه، افزایش چشمگیر سختی نانوکامپوزیت را به همراه دارد. البته در درصدهای بالای نانوذرات SiC (5% وزنی)، این ذرات در مرزدانه ها کلوخه ای شده و باعث کاهش سختی کامپوزیت می شوند. نانوکامپوزیت تقویت شده با 3% وزنی نانوذرات، سختی 155 برینل را نشان داد که بهینه ترین درصد نانوذرات SiC می باشد. با توجه به نتایج سختی نمونه اولیه و نانوکامپوزیت با 3 درصد وزنی SiC، 24 درصد افزایش سختی مشاهده می شود.

Investigation of the microstructure and hardness of cast AA7068 nanocomposite reinforced with SiC nanoparticles

Mohammad Alipour[1,2], Reza Eslami-Farsani[1*]

1-Faculty of Materials Science and Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
2-Faculty of Mechanics, Tabriz University, Tabriz, Iran
* P.O.B. 1999-19395, Tehran, Iran, eslami@kntu.ac.ir

Keywords

Casting nanocomposite
SiC nanoparticles
Stir casting
Ultrasonic treatment

Abstract

In this study, microstructure and mechanical properties of AA7068 nanocomposite reinforced with 1, 2, 3 and 5 wt.% SiC nanoparticles (SiCnp) produced by stir casting and ultrasonic treatment have been investigated. Ultrasound device equipped with a cooling system with 2000 W powers was used for mixing alloy and nanoparticles. Also scanning electron microscopy was used for microstructure studies. The microstructure of nanocomposite was investigated by scanning electron microscope.The microstructural studies of the nanocomposite revealed that SiCnp addition reduces the grain size, but adding higher SiCnp content (5 wt.%) does not change the grain size considerably. Further investigations on hardness revealed that the addition of SiCnp increases hardness. At higher SiCnp contents (5 wt.%), the presence of SiCnp agglomerate on grain boundaries was found that causes decrease the hardness. The optimum amount of nanoparticles is 3 wt.% SiCnp that nanocomposite exhibits hardness of 155 BHN. According to the results of hardness for the initial samples and nanocomposites reinforced with 3 wt.% SiC, 24% increase in hardness can be seen

1- مقدمه

کامپوزیت های زمینه فلزی از جمله مهمترین انواع مواد پیشرفته می باشندکه قدمتی بیش از 50 سال دارند. این نوع کامپوزیت ها در صنایع مختلفی همانند صنایع نظامی، حمل و نقل، هواپیماسازی و خطوط انتقال قدرت مورد استفاده می باشند [1-3]. ازجمله کامپوزیت های زمینه فلزی، کامپوزیت های زمینه آلومینیمی هستند، که به دلیل مزایایی از قبیل چگالی پایین، استحکام ویژه بالا، مقاومت به سایش عالی، مقاومت به خستگی و خوردگی مناسب، امروزه در صنایع گوناگون از جمله صنایع هوافضا و خودرو دارای کاربرد گسترده ای هستند [3-6].

کامپوزیت های زمینه فلزی تقویت شده با ذرات ناپیوسته از راه های گوناگونی نظیر متالورژی پودر، تزریق مذاب در پیش ساخته، رسوب همزمان، آلیاژسازی مکانیکی و روش های گوناگون ریخته گری نظیر ریخته گری کوبشی، ریخته گری نیمه جامد، ریخته گری گردابی و دیگر روش ها تولید می شوند [7,3]. روش ریخته گری گردابی شامل هم زدن شدید فلز مذاب، تشکیل گرداب و وارد شدن ذرات تقویت کننده به داخل گرداب می باشد. پس از افزودن ذرات تقویت کننده به مذاب، دوغاب حاصله به مدت زمان معینی هم زده می شود، سپس با روش های متداول، ریخته گری انجام می گیرد [7].

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Alipour, M. and Eslami-Farsani, R., "Investigation of the microstructure and hardness of cast AA7068 nanocomposite reinforced with SiC nanoparticles", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 5, No. 4, pp. 461-468, 2019.

حضور ذرات تقویت کننده سخت در زمینه آلومینیم نرم همواره منجر به بهبود خواص نمی شود. حضور فیلم های اکسیدی و تخلخل در کامپوزیت های تهیه شده از روش ریخته گری گردابی به دلایل مختلف از جمله کشیده شدن هوا به داخل مذاب در حین هم زدن دوغاب کامپوزیتی و ممانعت از خروج گازها از دوغاب پس از ریخته گری به دلیل گرانروی بیشتر در مقایسه با آلیاژ زمینه، می تواند باعث کاهش خواص مکانیکی کامپوزیت های ریخته گری شود. در مورد کامپوزیت های زمینه فلزی ذره‌ای، عموماً توزیع یکنواخت و مناسب بین زمینه و ذره، وجود تطابق شیمیایی و فیزیکی و نیز عدم وجود یا ناچیز بودن تخلخل و فیلم های اکسیدی سبب حصول خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوب در محصول نهایی می شود [7].

در روش حباب سازی مافوق صوت، مخلوط مذاب و نانوذرات تحت تأثیر امواج مافوق صوت شدید قرار می گیرند. این عمل به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام می شود. از جمله مهمترین اثرات این امواج که به اثرات غیرخطی معروفند، حباب زائی گذرا و جریان صوتی است[9,8]. جریان صوتی برای هم زدن بسیار با ارزش است. حباب زائی در بر گیرنده تشکیل، بزرگ شدن و منفجر شدن حباب است. در ساخت نانوکامپوزیت ها به کمک امواج مافوق صوت، در مرحله نخست خوشه های نانوذرات موجود در مذاب توسط اثر حباب زائی امواج از بین می روند و در مرحله بعد نانوذرات مجزا توسط پدیده جریان صوتی به طور یکنواخت در داخل مذاب پراکنده می شوند (شکل 1) [10].

از آنجائی که هوا در حفرات موجود در خوشه های نانوذرات حبس شده است، بنابراین هوای حبس شده به عنوان جوانه ای برای تشکیل حباب ایفای نقش می کند. در مراحل اولیه افزودن نانوذرات به مذاب تعداد خوشه ها بسیار زیاد است، بنابراین تعداد حباب های تشکیل شده نیز زیاد خواهد بود. حباب های بوجود آمده در حین سیکل فشاری منفی رشد می کنند و پس از بزرگ شدن تا اندازه مشخص در حین سیکل فشاری مثبت به طور ناگهانی از هم پاشیده می شوند. حباب ها ی ریزی که در مدت زمانی کمتر از 10-6 ثانیه منفجر می شوند، نقاط گرم میکرونی گذرا را ایجاد می کنند. دما و فشار این نقاط به ترتیب 5000°C و بالای 1000 اتمسفر است. هم چنین سرعت گرم شدن و سرد شدن این نقاط در حدود 1010 K/s است [9].

حباب های گذرا ضربات انفجار گونه به خوشه ها و کلوخه های نانوذرات وارد می کنند و از این طریق خوشه های نانوذرات را می شکنند. ضربه شدید به همراه درجه حرارت های بسیار بالای گذرا سبب افزایش ترشوندگی ذرات توسط مذاب می شود. بررسی خواص مکانیکی این نانوکامپوزیت ها نشان داده است که سختی، استحکام تسلیم و استحکام نهائی نانوکامپوزیت ها نسبت به آلیاژ پایه به میزان چشمگیری بیشتر است [8]. بررسی ریزساختار نانوکامپوزیت های فوق نشان داده است که اندازه دانه و بازوهای دندریتی فاز زمینه نانوکامپوزیت نسبت به آلیاژ مربوطه کوچک تر است. یکی از اثرات مهم حضور نانوذرات، حذف ترکیبات بین فلزی مضر گزارش شده است [9].

مطالب یاد شده از مهمترین عوامل برای برابر یا بهتر بودن ازدیاد طول نانوکامپوزیت نسبت به آلیاژ پایه محسوب می شوند. توزیع و پراکندگی نانوذرات در زمینه نانوکامپوزیت نسبتاً مطلوب است و همواره تعدادی خوشه و کلوخه نانوذرات در نواحی مجاور مرزدانه ها و یا در امتداد مرزدانه ها مشاهده شده است. علاوه بر این، گزارش شده است که نانوذرات مجزا بیشتر در درون دانه ها یا بازوهای دندریتی فاز زمینه پراکنده شده اند [8].

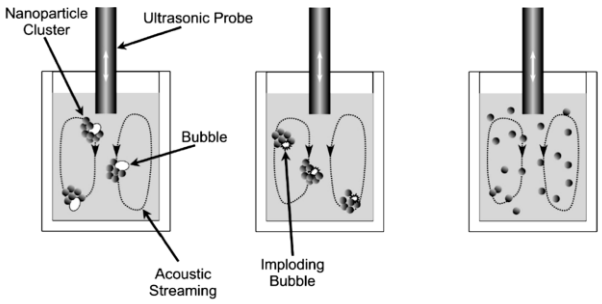


Fig. 1. Schematic effects of cavitation and turbulence caused by ultrasonic waves for dispersion of nanoparticles in molten [10]

شکل 1 شماتیک تاثیر کاویتاسیون و جریان گردابی ناشی از امواج مافوق صوت برای پخش یکنواخت نانوذرات در داخل مذاب [10]

در پژوهش حاضر روش جدیدی برای توزیع بهتر نانوذرات و همچنین اصلاح بیشتر ریزساختار بر مبنای فرآیند ذوبی به کمک فرآوری مافوق صوت در نظر گرفته شده است. بر این مبنا نانوذرات کاربید سیلسیم (SiC_{np}) بعد از آسیاب کاری پرانرژی با پودر میکرونی آلومینیم به مذاب آلیاژ پایه اضافه شده و تحت فرآوری ریخته گری گردابی و مافوق صوت قرار می‌گیرند. سپس ریزساختار زمینه و خواص نانوکامپوزیت بررسی می‌شود. به دلیل اهمیت آلیاژهای سری 7xxx در صنایع پیشرفته، آلیاژ 7068 به عنوان آلیاژ زمینه در ساخت نانوکامپوزیت انتخاب شده است.

2- روش تحقیق

در این تحقیق از آلیاژ آلومینیم 7068 با ترکیب مشخص شده در جدول 1 و نانوذرات SiC و پودرهای میکرونی آلومینیم با ابعاد 40 میکرومتر برای ساخت نانوکامپوزیت AA7068-SiC استفاده شد. از جمله ویژگی های نانوذرات می توان به متوسط اندازه بین 35 تا 50 نانومتر و خلوص بالای 99 درصد وزنی اشاره کرد. در شکل 2، تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) با مدل EM 208 ساخت شرکت Philips و آنالیز اندازه برای نانوذرات SiC نشان داده شده است. در این تحقیق نانوذرات SiC در درصدهای وزنی 1 تا 5 درصد به مذاب آلومینیم 7068 اضافه شدند تا حالت بهینه بدست آید.

جدول 1 ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم 7068 (درصد وزنی)

Table 1 Chemical composition of the AA7068 primary ingots (wt/.)

element	Al	Zn	Mg	Cu	Ti	Zr	Fe	Si	Mn
%	تعادل	8.2	3	2.4	.01	0.15	0.1	0.12	0.1

برای افزودن نانوذرات به مذاب از روش ساخت پودر کامپوزیتی با استفاده از آسیاب کاری پرانرژی مدل NARYA-MPM 2*250 H استفاده شد. در این روش ابتدا مخلوطی از نانوذرات SiC و پودر آلومینیمی با ابعاد 40 میکرومتر در داخل آسیاب پرانرژی به مدت 2 ساعت تحت عملیات آسیاب قرار گرفتند تا پودر کامپوزیتی آلومینیم با نانوذرات SiC حاوی 30 درصد نانوذرات و 70 درصد پودر آلومینیم بدست آید. سپس کامپوزیت پودری حاصل به مذاب

آلیاژ پایه افزوده شد. در شکل 3، تصویر پودر کامپوزیتی $Al\text{-}30SiC_{np}$ نشان داده شده است.

برای ساخت نمونه های مختلف، ابتدا مقدار مناسب از آلیاژ آلومینیم 7068 در داخل بوته گرافیتی قرار داده شد. مجموعه مذکور در داخل یک کوره مقاومتی با دمای 750 درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از ذوب کامل آلیاژ و پس از فرو بردن هم‌زن در مذاب، عمل هم زدن و افزودن نانو پودر کامپوزیتی به مذاب صورت گرفت. سرعت هم‌زن 500 دور بر دقیقه تنظیم گردید و مدت زمان اعمال هم‌زن مکانیکی 10 دقیقه در نظر گرفته شد. پس از پایان پذیرفتن عمل هم زدن، بوته از کوره خارج شده و بعد از کنار زدن لایه سرباره، مذاب به مدت 30 ثانیه تحت عملیات مافوق صوت با توان 2000 وات قرار گرفت. سپس مذاب حاصل در داخل قالب فلزی (شکل 4) ریخته شد. از قسمت وسط نمونه های حاصل از این قالب نمونه های استوانه ای به ارتفاع 1 سانتی متر با قطر 1 سانتی متر تهیه گردید. سطح این نمونه ها ابتدا با کاغذ سمباده های ضدآب 200 تا 5000 تحت عمل سمباده زنی قرار گرفت. سپس سطح نمونه ها پولیش شد و در محلول یک درصد حجمی اسید هیدروفلوئوریک در آب برای مدت 30 ثانیه اچ گردید.

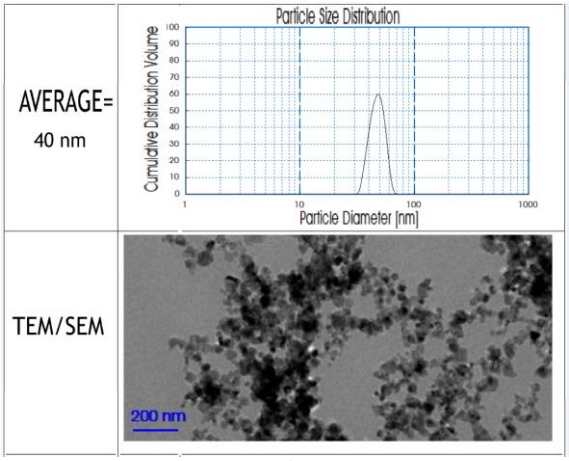


Fig. 2. Size analysis and TEM image of the SiC nanoparticles

شکل 2 آنالیز اندازه و تصویر TEM از نانوذرات SiC

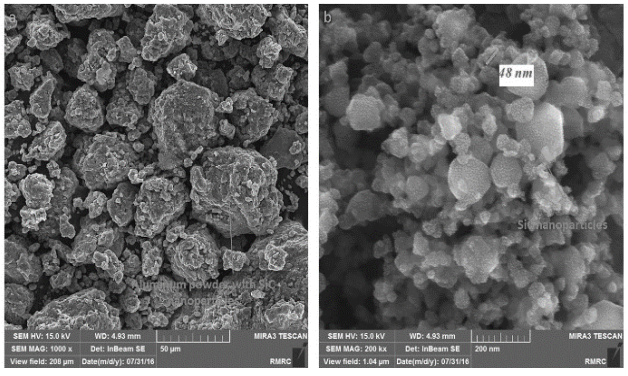


Fig. 3. Image of Al-30SiCnp composite powder after 2 hours of high energy milling

شکل 3 تصویر پودر کامپوزیتی Al-30SiCnp بعد از 2 ساعت آسیاب کاری پرانرژی

ریزساختار نمونه ها ابتدا با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با مدل VEGA\\TESCAN-LMU در بزرگنمائی های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف اصلی از این بررسی، پی بردن به نقش نانوذرات بر اندازه و شکل بازوهای دندریتی، فاز یوتکتیک، نحوه توزیع نانوذرات در زمینه نانوکامپوزیت، ریزساختار نمونه های مختلف و دیگر فازهای موجود در ریزساختار آلیاژ مورد نظر بود. برای ارزیابی خواص مکانیکی، از آزمون سختی سنجی برینل مطابق با استاندارد ASTM E10 استفاده شد، بدین منظور، دستگاه سختی سنجی برینل مدل HBMSTE-3000M Brinell با نیروی 30 کیلوگرم و قطر فرورونده 2.5 میلی متر بکار رفت. برای هر نمونه نیز حداقل 5 مرتبه سختی سنجی صورت گرفت.

3- نتایج و بحث

3-1- مطالعات ریزساختاری آلیاژ پایه و مخلوط پودر نانوذرات SiC و آلومینیم

نکته مهمی که باید بدان اشاره شود، اندازه و شکل پودرهای میکرونی آلومینیم می باشد. اندازه اولیه این پودرها 40 میکرون بود، اما بعد از 2 ساعت آسیاب کاری پرانرژی، اندازه و شکل پودرها تغییر کرد. عملیات انجام شده سبب شد که شکل پودرهای میکرونی از کروی به صفحه ای و اندازه آنها نیز کاهش یابد. همانطور که در شکل 3 نشان داده شد، بعد از اضافه کردن نانو پودرهای SiC به پودرهای میکرونی و بعد از عملیات آسیاب کاری پرانرژی، نانو پودرهای SiC به صورت یکنواخت در داخل پودرهای آلومینیمی پخش شده اند.

آلیاژ آلومینیم 7068 دارای عناصر آلیاژی اصلی روی، منیزیم و مس می باشد. تصویر SEM ارائه شده در شکل 5 نشان می دهد که این آلیاژ دارای ساختار یوتکتیکی در مرزدانه ها می باشد.

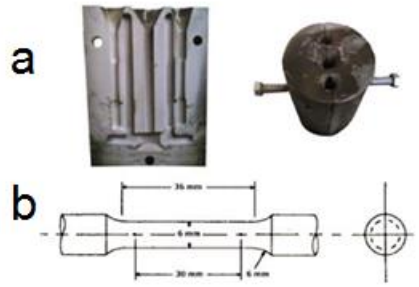


Fig. 4. (a) Casting mold and (b) tensile sample dimensions.

شکل 4 تصویر الف) قالب ریخته گری، ب) ابعاد نمونه تست کشش.

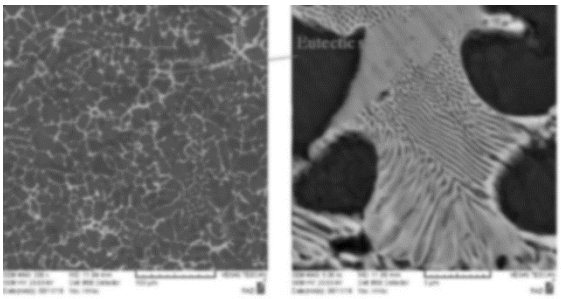


Fig. 5. SEM back-scattered images, showing the microstructures and eutectic structure of 7068 alumium alloy

شکل 5 تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ریزساختار و یوتکتیک مرزدانه ای آلیاژ پایه آلومینیم 7068

3-2- توزیع نانوذرات در نانوکامپوزیت ریختگی

توزیع نانوذرات در زمینه، تحت تأثیر نوع فرآوری مذاب در حین پراکنده ساختن نانوذرات و قبل از ریخته گری می باشد. همچنین متاثر از پدیده هایی است که در حین انجماد ایجاد می‌شود. در خصوص مورد اول می توان به ته نشین شدن،

شناور شدن و حتی کلوخه ای شدن نانوذرات اشاره کرد. در خصوص مورد دوم، مهمترین مسأله میان کنش بین جبهه انجماد و نانوذرات است که به فاکتورهای بسیاری وابسته است که از جمله آنها می توان به شکل جبهه انجماد، سرعت انجماد، کسر حجمی نانوذرات، شیب دمایی و شیب غلظت عناصر آلیاژی در جلوی جبهه انجماد اشاره داشت [11]. بدیهی است که اگر نانوذرات در مذاب از پراکندگی مناسبی برخوردار نباشند، نمی توان انتظار داشت که توزیع نانوذرات در نمونه حاصل شده از انجماد این مذاب مطلوب باشد.

علت این که با افزودن نانوذرات به صورت پودر آمیژان می توان به ساخت نانوکامپوزیت دست یافت را اینگونه می توان بیان کرد که در تهیه پودر آمیژان از روش آسیاکاری پرانرژی استفاده شده است، بنابراین در اثر نیروهای ضربه ای و برشی شدید ناشی از گلوله های آسیاب، خوشه های نانوذرات از بین رفته و نانوذرات به صورت مجزا در زمینه پودر آلومینیم توزیع خواهند شد (شکل 3). توزیع یکنواخت نانوذرات در زمینه پودر آلومینیم سبب افزایش فاصله بین نانوذرات و در نتیجه کاهش نیروی جاذبه بین آنها خواهد شد. این موضوع احتمال غلبه نیروی فراهم شده توسط هم‌زن مکانیکی بر نیروی جاذبه بین نانوذرات را افزایش داده و در نتیجه مانع از تشکیل خوشه های نانوذرات در هنگام افزودن پودر آمیژان به مذاب و پس از ذوب شدن ذرات آمیژان می شود.

کاملاً مشخص است که هرچه اندازه ذرات در داخل مذاب کوچکتر باشد، راحت تر در داخل مذاب حل می شوند. در مجموع پخش شدن نانوذرات در داخل مذاب توسط دو پدیده مهم اتفاق می افتد. در هنگام تزریق پودرهای کامپوزیتی آلومینیم-SiC به داخل مذاب، انحلال و ذوب شدن پودرهای میکرونی آلومینیم اتفاق می افتد، در این هنگام چون نانوذرات SiC با عملیات آسیاب کاری پرانرژی در داخل پودرهای آلومینیم قرار گرفته اند و پودرهای آلومینیم حامل نانوذرات SiC هستند، این پودرها از نانوذرات SiC در مقابل مذاب محافظت کرده و از تماس مستقیم نانوذرات با مذاب جلوگیری خواهند کرد. هنگامی که پودرهای میکرونی آلومینیم در داخل مذاب ذوب شدند، نانوذرات SiC در داخل زمینه آلومینیم مذاب رها سازی می شوند. این رها سازی نانو پودرهای SiC در مدت هم زدن مکانیکی مذاب اتفاق می افتد. در ادامه با اعمال امواج مافوق صوت به نانوکامپوزیت تا مرحله ریختن در قالب، کلوخه های نانوذرات SiC کاملاً از هم باز شده و نانوذرات در داخل زمینه پخش شدگی یکنواختی بدست می آورند.

ریزساختار آلیاژ آلومینیم 7068 بعد از اضافه کردن 1، 2، 3 و 5 درصد وزنی نانوذرات SiC، در شکل 6 نشان داده شده است. مطابق با شکل 6، با افزودن نانوذرات SiC، تغییرات ساختاری در داخل زمینه اتفاق افتاده و شاخه های دندریتی شکسته شده و شکل نهایی ریزساختار به جای ساختار دندریتی با شاخه های کشیده به ساختاری با دانه هایی به شکل گل رز در آمده اند. در ضمن با افزودن نانوذرات SiC، ترکیبات بین فلزی تشکیل شده در مرزدانه ها که درشت و ضخیم بودند، به صورت یکنواخت در داخل زمینه پخش شده اند. در مجموع ریزساختار حاصل از اضافه کردن نانوذرات SiC تا 3 درصد، باعث ریزتر شدن دانه ها شده و طبق رابطه هال پچ (رابطه 1)، با ریزتر شدن دانه ها خواص استحکامی بهتر خواهد شد.

$$\sigma o = \sigma i + \sqrt{KD} \qquad (1)$$

در رابطه (1)، σ_0 تنش تسلیم، σ_i تنش اصطکاکی، k پارامتر قفل شدن و D قطر متوسط دانه‌هاست. اثر هال پچ براساس پدیده انباشتگی نابجایی ها در مرزدانه ها توضیح داده می شود. این انباشتگی ها موجب ایجاد نواحی تمرکز تنش در مرز دانه ها می شوند که در فعال سازی چشمه های نابجایی در دانه های مجاور و انتقال آنها بین دانه ها نقش اساسی دارند. براین اساس، کوچک‌تر شدن اندازه دانه موجب محدود شدن این انباشتگی ها و در نتیجه محدودیت پخش نابجایی ها در حجم اجسام می شود. اما در درصدهای بیشتر، نانوذرات، کلوخه ای شده و اثر هال پچ کاهش می یابد و باعث کاهش خواص استحکامی می شود.

در ارتباط با توزیع یکنواخت نانوذرات در داخل زمینه نیز می توان گفت که این ذرات با استفاده از مکانیزم قفل کردن ترک ها در داخل زمینه هنگام اشاعه ترک باعث افزایش استحکام و چقرمگی نانو کامپوزیت می شوند. پس در مجموع دو مکانیزم و پدیده مهم در داخل نانوکامپوزیت اتفاق می افتد. اول این که با اضافه کردن نانوذرات، اندازه دانه های آلیاژ زمینه کاهش می‌یابد که طبق رابطه هال پچ باعث بهبود خواص مکانیکی نانوکامپوزیت می‌شود. دوم این که با افزودن نانوذرات و پخش یکنواخت این ذرات در داخل زمینه با استفاده از مکانیزم قفل کردن ترک در داخل زمینه، باعث افزایش سختی نانوکامپوزیت می شود. اما در درصدهای بالاتر نانوذرات SiC (5 درصد)، چون مقدار آن زیاد می باشد، نانوذرات به خوبی در زمینه توزیع نشده و کلوخه می‌شوند و بیشتر در مرز دانه ها تجمع می‌کنند که این کلوخه‌ای شدن نانوذرات باعث کاهش خواص مکانیکی نانو کامپوزیت می‌شود.

در شکل 7، آنالیز اشعه ایکس از سطح نمونه کامپوزیت زمینه آلومینیم 7068 با 5 درصد نانوذرات SiC و نحوه توزیع عناصر مختلف نشان داده شده است. مطابق با شکل 7، عناصر اصلی روی، مس و منیزیم در داخل دانه و همچنین مرزدانه ها توزیع شده اند. به علت تشکیل فاز یوتکتیک $MgZn_2$ در آلیاژ آلومینیم 7068 و حضور فاز یوتکتیک در مرزدانه ها، عناصر منیزیم و روی بیشتر در مرزدانه ها حضور دارند. همچنین در داخل دانه ها نیز عناصر منیزیم و روی مشاهده می شوند. نانوذرات SiC با توجه به شکل 7 دارای توزیع و پراکندگی مناسبی هستند، اما در بعضی از مناطق نمونه، این ذرات کلوخه ای شده و تجمع کرده اند که باعث کاهش خواص مکانیکی نانوکامپوزیت می شود. در درصدهای پایین نانوذرات SiC، به علت درصد پایین فاز تقویت کننده، توزیع بهتری بدست می‌آید، اما در درصدهای بالاتر به علت کلوخه ای شدن، نانوذرات در حین انجماد از جبهه انجماد پس زده شده و در مرزدانه ها تجمع می‌کنند که باعث کاهش خواص مکانیکی نانوکامپوزیت می‌شود.

3-3- سختی نانوکامپوزیت های ریختگی

در شکل 8، سختی آلیاژ ریختگی آلومینیم 7068 و نانوکامپوزیت های مختلف AA7068/SiC نشان داده شده است. مطابق با شکل، سختی 155 برینل (که بیشترین سختی در نمونه هاست)، مربوط به نانوکامپوزیت با 3 درصد وزنی نانوذرات SiC می‌باشد. سختی نمونه اولیه بدون نانوذرات SiC، 125 برینل می باشد. با توجه به نتایج سختی نمونه اولیه و نانوکامپوزیت با 3 درصد SiC، 24 درصد افزایش سختی مشاهده می شود.

علت سختی بالای این نمونه به طور قطع مربوط به حضور نانوذرات در درون بازوهای دندریتی زمینه نانوکامپوزیت است. در خصوص علت افزایش سختی نانوکامپوزیت می توان به دو عامل ریزتر شدن دندریت ها و دانه ها و همچنین توزیع یکنواخت تر نانوذرات در داخل زمینه با استفاده از هم‌زن مکانیکی و همچنین امواج مافوق صوت اشاره داشت. ریزتر بودن دندریت‌ها به معنای نزدیکتر بودن فازهای یوتکتیک اطراف دندریت‌ها به یکدیگر است. از آنجائی که یوتکتیک آلیاژ آلومینیم 7068 از سختی بالا و شکل پذیری کمی برخوردار هست، لذا در هنگام وارد آمدن نیرو توسط نفوذ کننده الماسی، همانند

دژ مستحکم مانع از تغییر شکل پلاستیکی زمینه در صفحه عمود بر راستای اعمال نیرو خواهد شد و بنابراین سختی بیشتری حاصل می شود. یعنی با ریزتر شدن فاز ثانویه و ریز شدن دانه ها طبق رابطه هال پچ خواص مکانیکی از جمله سختی نانو کامپوزیت بیشتر خواهد شد که این افزایش تا 3 درصد وزنی نانوذرات SiC اتفاق افتاده و بعد از این، در 5 درصد به علت کلوخه ای شدن نانوذرات، سختی به 128 برینل رسیده که حدود 17 درصد کاهش پیدا می‌کند. همچنین شایان ذکر است که استفاده از امواج مافوق صوت در توزیع یکنواخت نانوذرات تاثیر بسزایی داشته و باعث یکنواخت تر شدن خواص و افزایش خواص مکانیکی نانوکامپوزیت شده است.

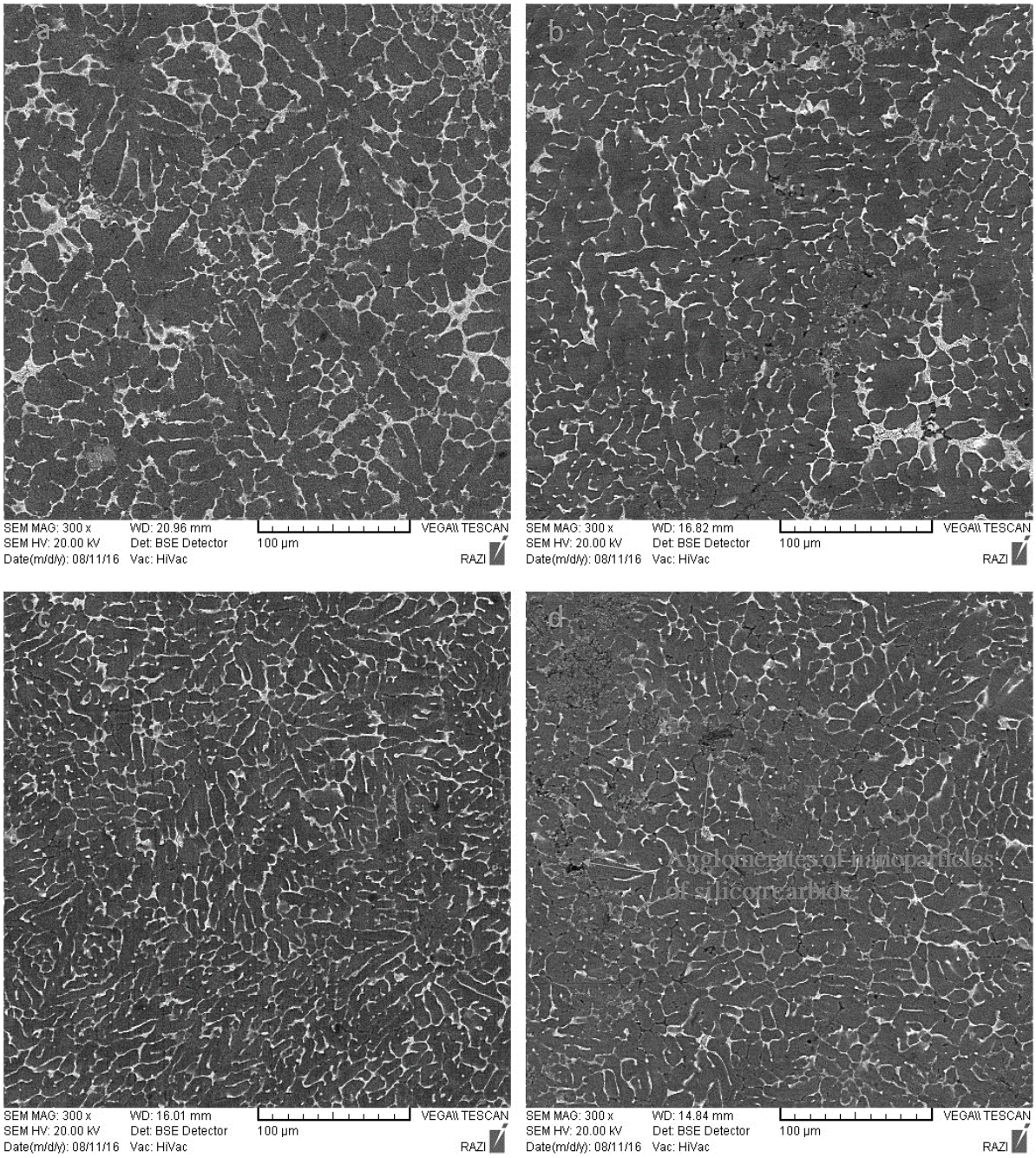
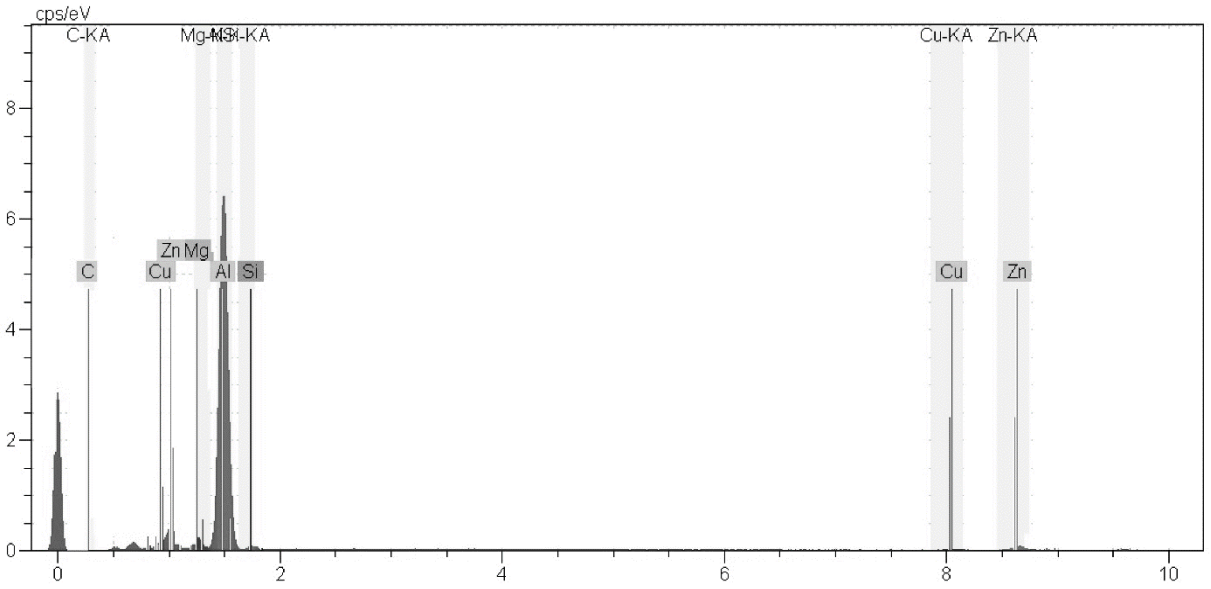
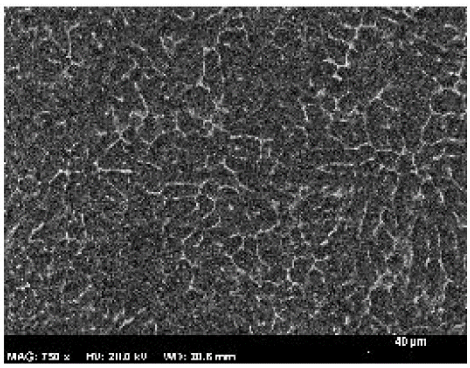


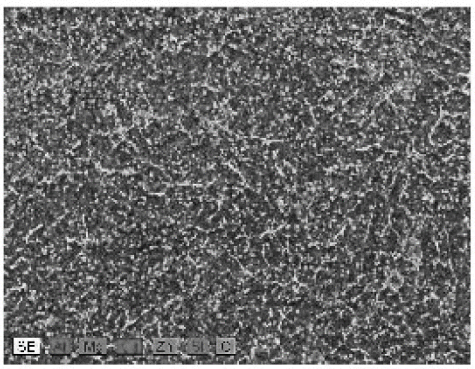
Fig. 6. SEM back-scattered images, showing the microstructures of the AA7068 alloy with: (a) As cast, (b) 1 wt.%, (c) 3 wt.% and (d) 5 wt.% SiC nanoparticles.

شکل 6 تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ریزساختار، الف) آلیاژ پایه آلومینیم 7068، ب) 1٪، ج) 3٪، و د) 5٪ نانوذرات SiC.

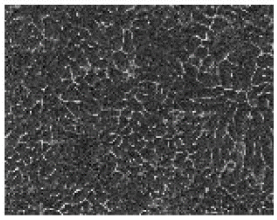




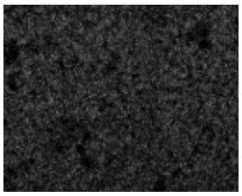
SEM image



Map data

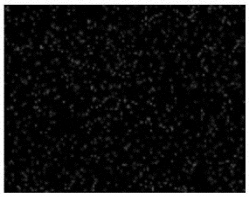


SE

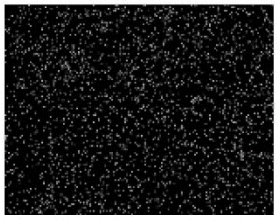


Al-K

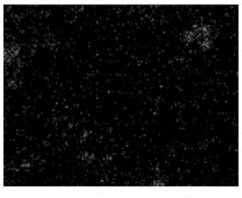
Mg-K



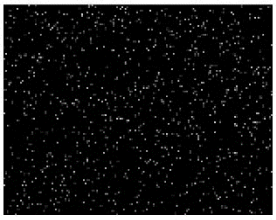
Cu-KA



Zn-KA



Si-KA



C-KA

Fig. 7. Energy dispersive X-ray and map analysis of the AA7068/5% SiC_{np} nanocomposite and distribution of the major elements.

شکل 7 آنالیز اشعه ایکس از سطح نمونه نانوکامپوزیت آلومینیم 7068 با 5 درصد نانوذرات تقویت کننده SiC و نحوه توزیع عناصر اصلی.

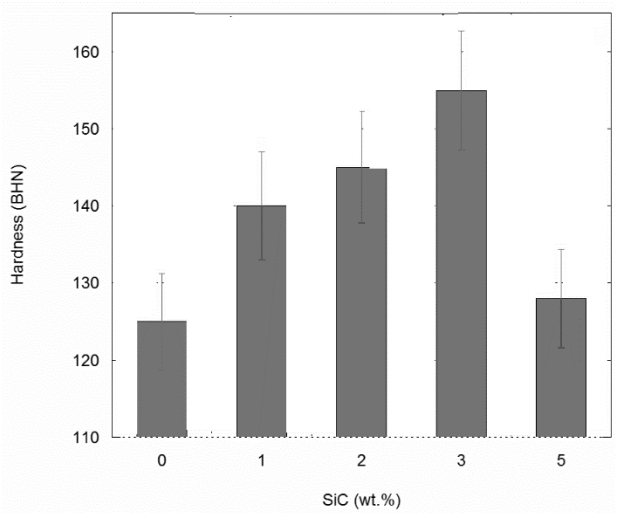


Fig. 8. Hardness of AA7068/SiCnp nanocomposite with 0, 1, 2, 3 and 5 wt.% SiC nanoparticles.

شکل 8 نتایج سختی نمونه های نانوکامپوزیت تقویت شده با 0، 1، 2، 3 و 5 درصد وزنی نانوذرات SiC.

4-نتیجه‌گیری

در این تحقیق، نانوکامپوزیت AA7068/SiC به روش ریخته گری گردابی با کمک امواج مافوق صوت ساخته شد و خواص مکانیکی و ریزساختار آن بررسی شد. نتایج نهایی حاصل از این مطالعه به شرح زیر هستند:

1- در اثر اعمال امواج مافوق صوت به مذاب، جوانه های تشکیل شده اولیه و رسوبات شکسته شده و تعداد مراکز جوانه زنی بیشتر خواهد شد، در نتیجه باعث ایجاد ساختاری بسیار ریزتر می شود که طبق رابطه هال پچ، افزایش خواص مکانیکی (سختی) را به همراه دارد.

2- آسیاب کاری پرانرژی و تولید تقویت کننده به صورت پودر کامپوزیتی آلومینیم و نانوذرات SiC، باعث توزیع و پخش یکنواخت تر نانوذرات در زمینه آلیاژ می شود.

3-وجود فاز تقویت کننده سرامیکی در زمینه فلزی باعث ایجاد ناحیه کرنشی در زمینه شده و از حرکت نابجایی ها جلوگیری کرده و باعث افزایش سختی در نانوکامپوزیت می شود.

4-درصد بهینه برای فاز تقویت کننده نانوذرات SiC در این تحقیق با توجه به مطالعات ریزساختاری و سختی نمونه ها، 3 درصد وزنی انتخاب شد.

5- مکانیزم های اصلی که باعث افزایش خواص مکانیکی (سختی) در نانوکامپوزیت مورد مطالعه شده است، مکانیزم های هال پچ و قفل شدن ترک می باشد که بر اساس آن، نانوذرات SiC از حرکت ترک داخل نمونه نانوکامپوزیتی جلوگیری کرده و باعث افزایش خواص مکانیکی می شوند.

5-مراجع

[1] Abbasi, HY. Habib, A. Tanveer, M., "Synthesis and Characterization of Nanostructures of ZnO and ZnO/Graphene Composites for the Application in Hybrid Solar" Journal of Alloys and Compounds, Vol. 690, pp. 21–26, 2017.

[2] Li, X. Yang, Y. Chen, X., "Ultrasonic-Assisted Fabrication of Metal Matrix Nanocomposites" Journal of Materials Science, Vol. 39, pp. 3211-3212, 2004.

[3] Yibin, X. Yoshita, T., "Thermal Conductivity of SiC Fine Particles Reinforced Al Alloy Matrix Composite with Dispersed Particle Size" Journal of Applied Physics, Vol. 95, pp. 722-726, 2004.

[4] Borgonovo, C. Apelian D., "Manufacture of Aluminum Nanocomposites: A Critical Review" Materials Science Forum, Vol. 678, pp. 1-22, 2011.

[5] Karbalaei Akbari, M. Shirvanimoghaddam, K. Hai, Z. Zhuiykov, S. Khayyam, H., "Al-TiB2 Micro/Nanocomposites: Particle Capture Investigations, Strengthening Mechanisms and Mathematical Modelling of Mechanical Properties" Materials Science and Engineering: A, Vol. 682, pp. 98–106, 2017.

[6] Miracle, D., "Metal Matrix Composites–from Science to Technological Significance" Composites Science and Technology, Vol. 65, pp. 2526-2540, 2005.

[7] Wenzhen, L. Shiying, L. Qiongyuan, Z. Xue, Z., "Ultrasonic-Assisted Fabrication of SiC Nanoparticles Reinforced Aluminum Matrix Composites" Materials Science Forum, Vol. 654-656, pp. 990-993, 2010.

[8] Hihn, JY. Doche, ML. Mandroyan, A. Hallez, L. and Pollet, BG., "Respective Contribution of Cavitation and Convective Flow to Local Stirring in Sonoreactors" Ultrasonics Sonochemistry, Vol. 18, pp. 881-887, 2011.

[9] Amirkhanlou, S. Ji, S. Zhang, Y. Watson, D. Fan, Z., "High Modulus Alsingle BondSisingle BondMgsingle BondCu/Mg2Sisingle BondTiB2 Hybrid Nanocomposite: Microstructural Characteristics and Micromechanics-Based Analysis" Journal of Alloys and Compounds, Vol. 694, pp. 313–324, 2017.

[10] Yan, J. Xu, Z. Shi, L. Ma, X. Yang, S., "Ultrasonic Assisted Fabrication of Particle Reinforced Bonds Joining Aluminum Metal Matrix Composites" Mater & Design, Vol. 32, pp. 343-347, 2011.

[11] Shabana, S. Sonawane, SH. Ranganathan, V. Pujjalwar, PH. Pinjari, DV. Bhanvase, BA. Gogate, PR. Ashokkumare, M., "Improved Synthesis of Aluminium Nanoparticles Using Ultrasound Assisted Approach and Subsequent Dispersion Studies in di-octyl Adipate" Ultrasonics Sonochemistry, Vol. 36, pp. 59–69, 2017.