



اثر زمان آسیاکاری بر مشخصه‌های ریزساختاری کامپوزیت منیزیم-۲۰ درصد حجمی کاربید سیلیسیم تولیدی به روش آسیاکاری گلوله‌ای

سعید بمانی‌فر^۱، محمد رجبی^{۲*}، سید جمال حسینی‌پور

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل
 ۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل
 ۳- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل
 * m.rajabi@nit.ac.ir، ۴۷۱۴۸-۷۱۱۶۷

چکیده

در این پژوهش، نانوکامپوزیت منیزیم-۲۰ درصد حجمی کاربید سیلیسیم به روش آسیاکاری مکانیکی تهیه شد. اثر زمان آسیاب بر مشخصه‌های ریزساختاری نانوکامپوزیت‌های حاصل شامل اندازه دانه، میزان کرنش شبکه، توزیع ذرات تقویت‌کننده و فازهای موجود توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف سنج اشعه ایکس و الگوی تفرق اشعه ایکس بررسی شد. اندازه دانه و میزان کرنش شبکه منیزیم به روش ویلیامسون - هال و با استفاده از میزان پهن شدگی پیک‌های منیزیم در الگوی تفرق اشعه ایکس محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که آسیاکاری مکانیکی ترکیب پودری تا ۲۵ ساعت آسیاب، منجر به تشکیل هیچ گونه ترکیب بین فلزی نشده است. همچنین نتایج آنالیز عنصری، توزیع نسبتا یکنواخت ذرات فاز تقویت‌کننده در زمینه منیزیم را بدون آگلومراسیون نشان داد که می‌توان نتیجه گرفت که روش آسیاکاری مکانیکی می‌تواند برای ساخت نانوکامپوزیت با ۲۰ درصد حجمی ذرات کاربید سیلیسیم استفاده شود. با این وجود، مشاهده ناخالصی آهن در نتایج آنالیز عنصری را می‌توان از نقاط ضعف این فرایند در ساخت کامپوزیت ذکر کرد.

اطلاعات مقاله

دریافت: ۹۵/۳/۱۷
 پذیرش: ۹۵/۷/۳

کلیدواژگان:

نانوکامپوزیت زمینه منیزیم
 کاربید سیلیسیم
 آسیاکاری مکانیکی
 ریزساختار

Effect of milling time on microstructural characteristics of Mg-20 %vol SiC composite produced by mechanical milling

Saeed Bemanifar, Mohammad Rajabi*, Seyed Jamal Hoseinipoor

Department of Material Science and Engineering, Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
 *P.O.B. 47148-71167, Babol, Iran, m.rajabi@nit.ac.ir

Keywords

Magnesium matrix
 nanocomposites
 SiC
 Mechanical milling
 Microstructure

Abstract

In the present study, Mg-20 vol% SiC nanocomposite powders were produced by mechanical milling. The effect of milling time on the microstructural characteristics of nanocomposite powders during mechanical milling was investigated. The structural evolution during milling was monitored using scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectrometry (EDS), X-ray mapping and X-ray diffraction methods. Crystallite size and lattice strain of nanocomposite powders were estimated from the broadening of XRD peaks by Williamson-Hall equation. The results indicated that no intermetallic phases have been synthesized during ball milling; also X-ray map's results exhibited a uniform distribution of reinforcement particles in magnesium matrix without any agglomeration. With all this taken into account, it can be demonstrated that mechanical milling can be used for producing Mg nanocomposite with 20 percent SiC particles. In spite of all that, the observation of Fe impurity in EDS results can be a weak point of mechanical alloying rout for fabricating Mg-20% SiC nanocomposite.

۱- مقدمه

فلزات رایج، منیزیم یکی از سبک‌ترین فلزات پرکاربرد شناخته می‌شود اما به دلیل مشکلاتی از قبیل مقاومت به خوردگی پایین، خواص مکانیکی نسبتاً ضعیف (مدول الاستیک کم، استحکام پایین، چقرمگی و شکل‌پذیری کم در

امروزه کاربرد آلیاژهای سبک در صنایع مختلف از جمله خودروسازی و هوافضا مورد توجه قرار گرفته است زیرا کاهش وزن منجر به کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد شد. در میان

Please cite this article using:

Bemanifar, S. Rajabi, M. and Hoseinipoor, S. J., "Effect of milling time on microstructural characteristics of Mg-20 %vol SiC composite produced by mechanical milling", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 4, No. 2, pp. 135-140, 2017.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

بسیار حائز اهمیت بوده و لازمه دست‌یابی به یک کامپوزیت با خواص یکسان و همسان‌گرد است.

۲- روش پژوهش

پودرهای منیزیم (مرک، ۹۹٪) با اندازه ذرات کمتر از ۱۰۰ میکرومتر و کاربید سیلیسیم (مرک، ۹۹.۵٪) با متوسط اندازه ذرات ۵۰ نانومتر به عنوان مواد اولیه تهیه شدند. جهت آسیاکاری مکانیکی، پودر منیزیم با ۲۰ درصد حجمی کاربید سیلیسیم به عنوان فاز تقویت‌کننده و ۲ درصد وزنی اسید استناریک به عنوان عامل کنترل‌کننده فرایند مخلوط شد. فرایند آسیاکاری مکانیکی با استفاده از آسیاب پر انرژی گلوله‌ای سیاره‌ای^۱ و در زمان‌های مختلف ۵، ۱۵ و ۲۵ ساعت انجام شد. برای جلوگیری از اکسیداسیون پودر از گاز آرگن با خلوص بالا درون محفظه آسیا استفاده شد. محفظه آسیا و گلوله‌های مورد استفاده از جنس فولاد زنگ‌زن آستنیتی، قطر گلوله‌ها ۱۰ میلی‌متر، نسبت گلوله به پودر ۱۸ به ۱ و سرعت دوران ۲۶۰ دور در دقیقه انتخاب شد.

جهت مشاهده ریزساختار پودر نانومتری کاربید سیلیسیم از میکروسکوپ الکترونی عبوری^۲ استفاده شد. تغییرات مورفولوژیکی مخلوط پودری در زمان‌های مختلف آسیا توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. همچنین جهت بررسی چگونگی توزیع عناصر در نانوکامپوزیت‌های حاصل از زمان‌های مختلف آسیاکاری مکانیکی، از آنالیز توزیع عنصری میکروسکوپ الکترونی روبشی^۳ استفاده شد. برای بررسی میزان ورود آلودگی در حین آسیاکاری مکانیکی از آنالیز عنصری^۴ استفاده شد. مشخصه‌یابی فازی مخلوط پودری در زمان‌های مختلف آسیا توسط آنالیز تفرق اشعه ایکس^۵ انجام شد. برای تعیین تغییرات اندازه دانه زمینه منیزیم در زمان‌های مختلف آسیا، از روش ویلیامسون - هال و بر اساس میزان پهن شدن پیک‌های تفرق اشعه ایکس مطابق رابطه (۲) استفاده شد [۱۱]:

$$\beta \cos \theta = 0.94(\lambda/d) + 2\varepsilon \cdot \sin \theta \quad (2)$$

که در این رابطه، β پهنای هر یک از پیک‌ها در نصف ارتفاع بیشینه در زاویه θ ، λ طول موج اشعه ایکس، d اندازه دانه و ε کرنش شبکه است. چنانچه مقادیر $\beta \cos \theta$ برای پیک‌های مختلف بر حسب $\sin \theta$ رسم شود و از روی نقاط رسم شده بهترین خط برد شود از روی شیب و عرض از مبدا خط می‌توان به ترتیب کرنش شبکه و اندازه دانه را محاسبه نمود.

۳- نتایج و بحث

در شکل ۱، مورفولوژی مواد اولیه مورد استفاده شامل پودرهای منیزیم خالص و کاربید سیلیسیم نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود مورفولوژی پودر اولیه منیزیم به صورت پولکی و لایه‌ای بوده در حالی که مورفولوژی ذرات کاربید سیلیسیم به صورت کروی و هم‌محور است.

در شکل ۲، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از روند تغییر در اندازه و مورفولوژی مخلوط پودری در زمان‌های مختلف آسیاکاری مکانیکی نشان داده شده است. اندازه ذرات پودر در حین فرآیند، در اثر دو فاکتور جوش سرد و شکست که بین اجزا پودر اتفاق می‌افتد، تغییر می‌کند [۱۲]. در هنگام جوش سرد، اندازه ذرات افزایش می‌یابد در حالی که شکست باعث کاهش اندازه ذرات می‌شود. در مراحل اولیه آسیا، ذرات پودر هنوز نرم هستند و در

دمای اتاق، افت سریع استحکام با افزایش دما و مقاومت به خزش پایین، کاربرد آن محدود شده است [۱-۳].

یکی از روش‌های بهبود خواص مکانیکی منیزیم، تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی است. برای ساخت این کامپوزیت‌ها، از تقویت‌کننده‌های متفاوتی می‌توان بهره گرفت که در این میان، استفاده از تقویت‌کننده‌های ذره‌ای در مقایسه با فیبرها، ویسکرها و کربن نانوتیوب‌های کربنی، به دلیل قیمت ارزان‌تر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۴].

گزارش شده است که خواص مکانیکی کامپوزیت‌های تقویت‌شده با ذرات توسط متغیرهایی از قبیل درصد حجمی ذرات، اندازه ذرات و فاصله بین آن‌ها تعیین می‌شود. چنانچه ذرات تقویت‌کننده مکعبی شکل فرض شوند و در فواصل معین در یک شبکه مکعبی ساده پخش شده باشند، رابطه بین فاصله ذرات، اندازه ذرات و کسر حجمی تقویت‌کننده به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود [۵]:

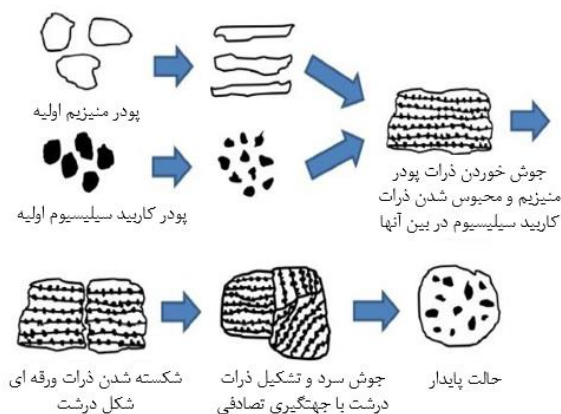
$$\lambda = d \left(\frac{1}{\sqrt[3]{f_v}} - 1 \right) \quad (1)$$

در این رابطه λ فاصله بین ذرات، d اندازه ذرات و f_v کسر حجمی ذرات تقویت‌کننده است. با توجه به رابطه (۱)، می‌توان نتیجه گرفت که هرگاه کسر حجمی ذرات تقویت‌کننده بیش از ۱۲/۵٪ باشد، فاصله بین ذرات از اندازه ذرات کمتر می‌شود. پژوهش‌های انجام شده تا کنون نشان می‌دهد که مکانیزم غالب در استحکام بخشی مواد کامپوزیتی تقویت‌شده با ذرات، تشکیل نابجایی‌های لازم از نظر هندسی^۱ به دلیل تفاوت در مدول الاستیک و ضریب انبساط حرارتی زمینه فلزی و ذرات تقویت‌کننده است [۶]. چنانچه از ذرات تقویت‌کننده سرامیکی در محدوده ابعادی یک تا چند صد میکرومتر استفاده شود، λ در مقیاس میکرومتری بوده و کمتر از اندازه ذرات تقویت‌کننده خواهد بود. در این موارد، افزودن ذرات سرامیکی میکرومتری عموماً باعث افت شکل‌پذیری منیزیم و آلیاژهای آن می‌شود که کاربرد آن‌ها را محدود می‌کند [۷]. تحقیقات اخیر [۸، ۹] نشان می‌دهد که ساخت نانوکامپوزیت‌های زمینه منیزیمی تقویت‌شده با ذرات سرامیکی با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر منجر به بهبود قابل توجه خواص مکانیکی می‌شود و در عین حال شکل‌پذیری منیزیم نیز حفظ می‌شود.

بخش عمده پژوهش‌های انجام شده بر روی نانو کامپوزیت‌های پایه منیزیمی، بر روی درصدهای حجمی پایین تقویت‌کننده‌های سرامیکی (کمتر از ۵٪) تمرکز داشته و مقدار λ در مقیاس میکرومتری و نانومتری، بسیار بزرگتر از اندازه ذرات بوده است و مکانیزم استحکام بخشی در این مواد عمدتاً بر پایه مکانیزم اوروان گزارش شده است. لیو^۲ و همکارانش [۱۰] با سنتز نانو کامپوزیت پایه منیزیم حاوی ۳۰ درصد حجمی اکسید آلومینیم به روش آلیاژسازی مکانیکی، مشخصه‌های ریزساختاری کامپوزیت در حین آلیاژسازی مکانیکی را بدون در نظر گرفتن خواص مکانیکی بررسی کردند.

بر اساس بررسی‌های انجام شده، ساخت و مشخصه‌یابی نانو کامپوزیت منیزیم- ۲۰ درصد حجمی کاربید سیلیسیم به روش آسیاکاری مکانیکی تا کنون گزارش نشده است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی زمان آسیاکاری مکانیکی بر مشخصه‌های ریزساختاری نانوکامپوزیت منیزیم- ۲۰ درصد حجمی کاربید سیلیسیم می‌باشد. از آنجا که تمایل ذرات به آگومه شدن در مواردی که کسر حجمی فاز تقویت‌کننده زیاد و اندازه ذرات کوچک است، بسیار زیاد است، توزیع یکنواخت فاز تقویت‌کننده نانومتری در زمینه منیزیم

1. Retsch PM 100
2. TEM
3. SEM
4. EDX
5. XRD



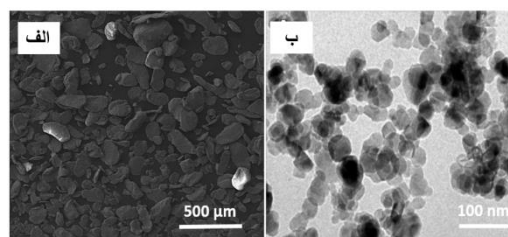
شکل ۳ مکانیزم آلیاژسازی مکانیکی به‌صورت نمادین در یک سیستم نرم-ترد

به‌منظور بررسی آنالیز شیمیایی ترکیبات پودری در حین آسیاکاری مکانیکی، از آنالیز عنصری استفاده شد که نتایج آن در شکل ۴ نشان داده شده است. حضور اکسیژن در آنالیز را می‌توان به واکنش پذیری بالای ذرات منیزیم در حین آسیاکاری نسبت داد و انتظار می‌رود چنانچه مقدار ترکیبات اکسیدی بیش از ۵ درصد حجمی باشد در آنالیز تفرق اشعه ایکس تشخیص داده شود. همچنین، مقداری آهن در ترکیبات پودری دیده می‌شود که مقدار آن با افزایش زمان آسیا، افزایش یافته است. حضور آهن در ترکیبات پودری را می‌توان به خواص سایشی و سختی بالای ذرات کاربید سیلیسیم، همچنین جنس محفظه و گلوله‌های آسیاب مورد استفاده (فولاد زنگ نزن آستنیتی) مرتبط دانست. لازم به ذکر است که طلا به‌دلیل آماده سازی ترکیبات پودری با پوشش طلا، در نتایج آنالیز دیده می‌شود. به‌منظور بررسی نحوه توزیع ذرات تقویت‌کننده در زمینه، توزیع عناصر در زمان‌های مختلف آسیاکاری مکانیکی توسط پرتوی اشعه ایکس میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۵ آورده شده است. بر اساس تصاویر، به نظر می‌رسد که با افزایش زمان آسیا، توزیع عناصر منیزیم و سیلیسیم تا حدودی بهبود یافته است. به عبارت دیگر، توزیع ذرات تقویت‌کننده (کاربید سیلیسیم) با افزایش زمان آسیا یکنواخت تر شده است.

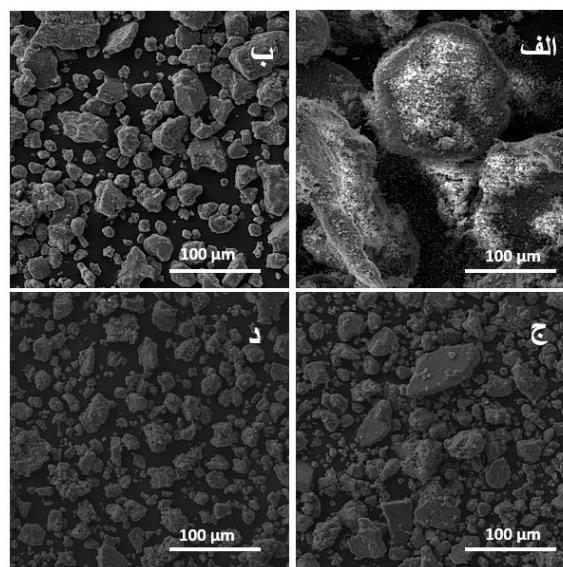
تغییرات اندازه دانه منیزیم و کرنش شبکه بر حسب زمان آسیاکاری مکانیکی در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود به‌دلیل تغییر شکل پلاستیک اعمال شده به ذرات پودر در حین فرآیند آسیاکاری مکانیکی، اندازه دانه‌های منیزیم تا حد نانومتر کاهش یافته است به طوری که بعد از ۵ ساعت آسیاب، متوسط اندازه دانه‌ها از ۰/۲ میکرومتر به ۴۹ نانومتر کاهش یافته است. همچنین با افزایش زمان آسیا تا ۲۵ ساعت، روند کاهش اندازه دانه ادامه یافته و به ۱۲ نانومتر رسیده است.

نتایج آنالیز تفرق اشعه ایکس مربوط به ترکیبات پودری در زمان‌های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. جهت مقایسه، الگوی تفرق اشعه ایکس مربوط به مخلوط منیزیم و کاربید سیلیسیم قبل از آسیاکاری مکانیکی (شکل ۶-الف) هم آورده شده است. در جدول ۱، مقادیر میزان پهن شدگی سه پیک اول منیزیم در زمان‌های مختلف آسیاکاری نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش زمان آسیا، پیک‌های مربوط به فاز زمینه (منیزیم) پهن تر شده و از شدت آن‌ها کم شده است. دلیل این پدیده، کاهش اندازه دانه زمینه و افزایش کرنش شبکه در اثر افزایش زمان آسیا ذکر می‌شود [۱۵] زیرا در مواد کریستالی، پهنای پیک تفرق اشعه ایکس با کاهش ضخامت صفحات کریستالی، افزایش می‌یابد.

این شرایط جوش سرد بر روند فرآیند غالب است. در این مرحله ذرات منیزیم در اثر برخورد گلوله‌ها دچار تغییر شکل پلاستیک می‌شوند اما ذرات ترد کاربید سیلیسیم به‌دلیل قابلیت تغییر شکل پلاستیک محدود، خرد می‌شوند و هنگام جوش سرد ذرات منیزیم، در بین آن‌ها قرار می‌گیرند. بنابراین انتظار می‌رود در زمان‌های اولیه آسیا اندازه ذرات افزایش یابد (شکل ۲-الف). با افزایش زمان آسیا تا ۵ ساعت، به‌دلیل کار سختی ناشی از کار مکانیکی و پخش شدن ذرات ترد کاربید سیلیسیم در اطراف ذرات منیزیم، مکانیزم شکست فعال می‌شود و باعث کاهش اندازه ذرات می‌شود (شکل ۲-ب). با افزایش بیشتر زمان آسیا تا ۱۵ ساعت، ذرات هم‌محور به وجود می‌آیند اما مورفولوژی ذرات پودر کاملاً هم‌محور نشده و هنوز ذرات ورقه ای شکل نیز دیده می‌شوند (شکل ۲-ج). در این مرحله، اندازه ذرات پودر نسبت به زمان ۵ ساعت آسیا، مقداری افزایش نشان می‌دهد که این مساله را می‌توان به افزایش انرژی سطحی به‌دلیل کاهش اندازه ذرات و تمایل به تجمع یافتن آن‌ها نسبت داد [۱۳]. در نهایت، بعد از ۲۵ ساعت آسیا، میزان ذرات هم‌محور افزایش یافته و اندازه ذرات کاهش می‌یابد که می‌توان نتیجه گرفت که یک حالت پایا بین جوش سرد و شکست ذرات پودر بوجود آمده است (شکل ۲-د). سیستم منیزیم-کاربید سیلیسیم به‌دلیل این که از یک جزء فلزی و یک جزء سرامیکی تشکیل شده است، یک سیستم نرم-ترد محسوب می‌شود [۱۴]. مکانیزم آلیاژسازی مکانیکی در چنین سیستمی به‌صورت نمادین در شکل ۳ نشان داده شده است.

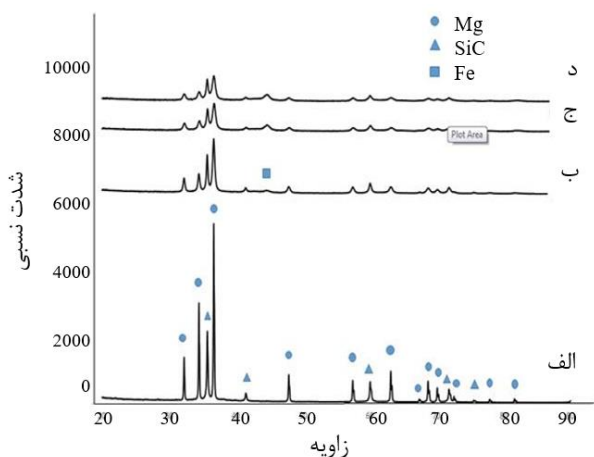


شکل ۱ تصاویر مواد اولیه قبل از آسیاکاری مکانیکی: (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از پودر کاربید سیلیسیم، (ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از پودر منیزیم



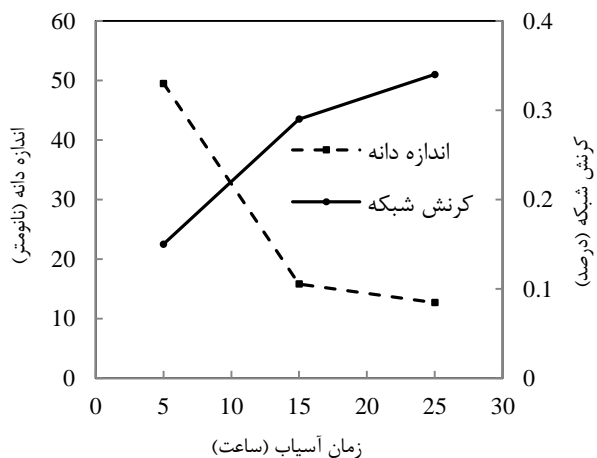
شکل ۲ مورفولوژی مخلوط پودر کامپوزیتی آسیا شده در زمان‌های متفاوت: (الف) ۳۰ دقیقه، (ب) ۵ ساعت، (ج) ۱۵ ساعت، (د) ۲۵ ساعت

باشد، دیده نمی‌شود بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سیستم منیزیم-کاربید سیلیسیم تا ۲۵ ساعت آسیاکاری مکانیکی، یک سیستم پایدار است. نکته دیگری که باید به آن توجه شود مشاهده پیک‌های ضعیف آهن پس از ۵ ساعت آسیاکاری است که شدت آن‌ها با افزایش زمان آسیا افزایش یافته است. همانگونه که پیش تر ذکر شد، حضور آهن ناشی از پدیده سایش بین ترکیب پودری با گلوله‌ها و محفظه آسیا است [۷].

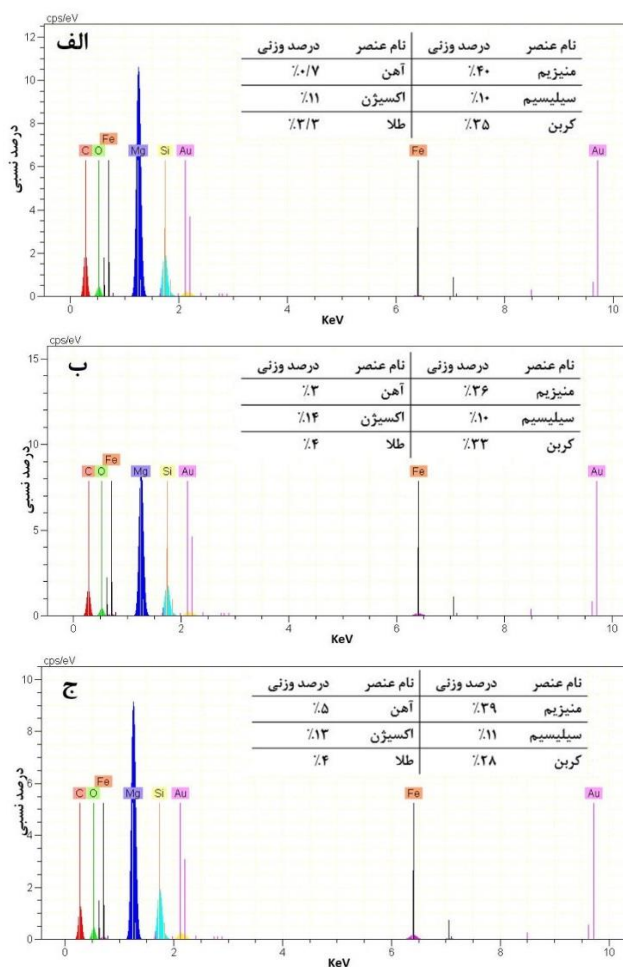


شکل ۶ تغییرات اندازه دانه و کرنش شبکه بر حسب زمان آسیاکاری مکانیکی

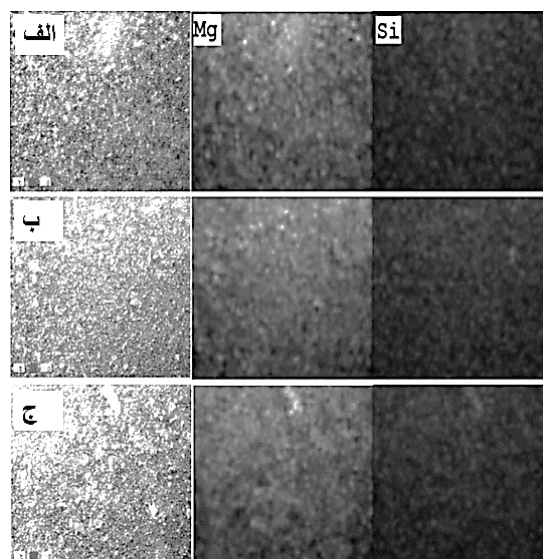
البته باید توجه شود که میزان کاهش اندازه دانه در مراحل اولیه آسیا با سرعت بیشتری اتفاق افتاده است. علاوه بر این، میزان کرنش شبکه با افزایش زمان آسیا افزایش یافته و از ۰/۱۵ برای ۵ ساعت آسیا تا ۰/۳۴ برای ۲۵ ساعت آسیا افزایش یافته است. همانگونه که قبلا ذکر شد و در نتایج میکروسکپ الکترونی هم نشان داده شد، آسیاکاری مکانیکی منجر به ایجاد تغییر شکل پلاستیک قابل توجهی در ذرات پودر می‌شود. این تغییر شکل پلاستیک منجر به افزایش چگالی عیوب کریستالی از جمله نابجایی‌ها می‌شود. افزایش نابجایی‌ها و سایر عیوب کریستالی منجر به افزایش انرژی سیستم می‌شود. بنابراین، برای کاهش انرژی سیستم و رسیدن به تعادل، نابجایی‌ها آرایش مجدد یافته و دانه‌های جدید با اندازه کوچکتر تشکیل می‌شوند [۱۶].



شکل ۷ نتایج تفرق اشعه ایکس ترکیبات پودری قبل از آسیاکاری مکانیکی (الف) و پس از آسیاکاری به مدت ۵ ساعت (ب)، ۱۵ ساعت (ج) و ۲۵ ساعت (د)



شکل ۴ آنالیز عنصری ترکیبات پودری در زمان‌های مختلف آسیاکاری مکانیکی: (الف) ۵ ساعت، (ب) ۱۵ ساعت، (ج) ۲۵ ساعت



شکل ۵ آنالیز توزیع عنصری از ترکیبات پودری در زمان‌های مختلف آسیاکاری مکانیکی: (الف) ۵ ساعت، (ب) ۱۵ ساعت، (ج) ۲۵ ساعت

همچنین باید توجه شود که با افزایش زمان آسیا تا ۲۵ ساعت، هیچ ترکیب بین فلزی که نشان دهنده واکنش بین منیزیم و کاربید سیلیسیم

- Matrix Nanocomposites Processed By Multidirectional Forging", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 622, pp. 1018-1026, 2015.
- [10] Liu, J. Suryanarayana, C. Ghosh, D. Subhash, G. and An, L., "Synthesis Of Mg-Al₂O₃ Nanocomposites By Mechanical Alloying", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 563, pp. 165-170, 2013.
- [11] Williamson, G.K. and Hall, W.H., "X-ray Line Broadening From Filedaluminum And Wolfram", Acta Metallurgica, Vol. 1, pp. 21-31, 1953.
- [12] Suryanarayana, C. and Al-Aqeeli, N., "Mechanically Alloyed Nanocomposites", Progress in Materials Science, Vol. 58, pp. 383-502, 2013.
- [13] Suryanarayana, C., "Mechanical Alloying And Milling", Progress in Materials Science, Vol. 46, pp. 1-184, 2001.
- [14] Fogagnolo, J.B. Velasco, F. Robert, M.H. and Torralba, J.M., "Effect Of Mechanical Alloying On The Morphology, Microstructure And Properties Of Aluminium Matrix Composite Powders", Materials Science and Engineering A, Vol. 342, pp. 131-143, 2003.
- [15] Alizadeh, A. Taheri-Nassaj, E. and Baharvandi, H.R., "Preparation and Investigation Of Al-4% wt. B4C Nanocomposite Powders Using Mechanical Milling", Bulletin of Material Science, Vol. 34, pp. 1039-1048, 2011.
- [16] Razavi Tousi, S.S. Yazdani Rad, R. Salahi, E. Mobasherpour, I. and Razavi, M., "Production of Al-20 wt.% Al₂O₃ Composite Powder Using High Energy Milling", Powder Technology, Vol. 192, pp. 346-351, 2009.

جدول ۱ مقادیر میزان پهن شدگی سه پیک اول منیزیم بر حسب رادیان در زمان‌های

مختلف آسیاکاری			
زمان آسیاکاری	پیک اول	پیک دوم	پیک سوم
۵ ساعت	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱۳۱	۰/۰۱۳۷
۱۵ ساعت	۰/۰۱۴۸	۰/۰۱۵۳	۰/۰۱۶۱
۲۵ ساعت	۰/۰۱۵۷	۰/۰۱۶۴	۰/۰۱۷۴

به عبارت دیگر، پدیده ریز شدن دانه‌ها در حین فرآیند آسیاکاری مکانیکی را می‌توان شامل تشکیل دانه‌های فرعی، سپس جذب نایجایی‌ها توسط دیواره دانه‌های فرعی و تبدیل مرزدانه‌های فرعی به مرزدانه‌هایی با زاویه باز در نظر گرفت.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر زمان آسیاکاری مکانیکی بر مشخصه‌های ریزساختاری نانوکامپوزیت منیزیم-۲۰ درصد حجمی کابید سیلیسیم بررسی شد. نتایج بدست آمده به شرح ذیل خلاصه می‌شود:

- با افزایش زمان آسیا، پیک‌های مربوط به فاز زمینه (منیزیم) پهن تر شده و از شدت آن‌ها کم می‌شود. محاسبات انجام شده نشان داد که با افزایش زمان آسیاکاری از ۵ به ۲۵ ساعت، اندازه دانه از ۴۹ به ۱۲ نانومتر کاهش و کرنش شبکه از ۰/۱۵ به ۰/۳۴ افزایش یافته است.
- با افزایش زمان آسیا تا ۲۵ ساعت، هیچ ترکیب بین فلزی در نتایج تفرق اشعه ایکس دیده نمی‌شود بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هیچگونه واکنشی بین منیزیم و کربید سیلیسیم انجام نشده و این سیستم تا ۲۵ ساعت آسیاکاری پایدار بوده است.
- نتایج آنالیز عنصری، توزیع نسبتا یکنواخت ذرات فاز تقویت‌کننده در زمینه منیزیم را بدون آگلومراسیون نشان می‌دهد.
- مشاهده ناخالصی آهن بعنوان ناخالصی در نتایج آنالیز عنصری را می‌توان از نقاط ضعف این فرآیند در حین آسیاکاری مکانیکی ذکر کرد که اثر آن بر خواص مکانیکی در حال بررسی بوده و در مقالات بعدی ذکر خواهد شد.

۵- مراجع

- [1] Mordike, B.L. and Ebert, T., "Magnesium: Properties-applications-potential", Materials Science and Engineering A, Vol. 302, pp. 37-45, 2001.
- [2] Ahmadiard, S. Shahin, N. Kazemi, S. Heidarpour, A. and Shirazi, A., "Fabrication of A5083/SiC Surface Composite By Friction Stir Processing and Its Characterization", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 2, No. 4, pp. 31-36, 2016.
- [3] Khosravi, H. and Eslami-Farsani, R., "An Experimental Investigation Into The Effect Of Surface-Modified Silica Nanoparticles On The Mechanical Behavior Of E-Glass/Epoxy Grid Composite Panels Under Transverse Loading", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 3, No. 1, pp. 11-20, 2016.
- [4] Miracle, D.B., "Metal Matrix Composites - From Science to Technological Significance", Composites Science and Technology, Vol. 65, pp. 2526-2540, 2005.
- [5] Gustafson, T.W. Panda, P.C. Song, G. and Raj, R., "Influence Of Microstructural Scale on Plastic Flow Behavior Of Metal Matrix Composites", Acta Materialia, Vol. 45, pp. 1633-1643, 1997.
- [6] Mortensen, A. and Kouzeli, M., "Size Dependent Strengthening In Particle Reinforced Aluminium", Acta Materialia, Vol. 50, pp. 39-51, 2002.
- [7] Saravanan, R.A. and Surappa, M.K., "Fabrication and Characterisation Of Pure Magnesium-30 Vol. % Sic Particle Composite", Materials Science and Engineering A, Vol. 276, pp. 108-116, 2000.
- [8] Xi, Y.L. Chai, D.L. Zhang, W.X. and Zhou, J.E., "Ti₆Al₄V Particle Reinforced Magnesium Matrix Composite by Powder Metallurgy", Materials Letters, Vol. 59, pp. 1831-1835, 2005.
- [9] Nie, K.B. Deng, K.K. Wang, X.J. Gan, W.M. Xu, F.J. Wu, K. and Zheng, M.Y., "Microstructures And Mechanical Properties Of S1cp/AZ91 Magnesium

