



تأثير دمای آنیل بر سنتز کاربید آلومینیوم به روش آلیاژسازی مکانیکی

ابراهیم آقابابایی^۱، محسن سبکتکین ریزی^۲، رضا ابراهیمی^۳، مسعود کثیری^۴

چکیده

آلومینیوم و آلیاژهای آن به دلیل دارا بودن وزن سبک و قابلیت شکل پذیری بالا کاربرد وسیعی در صنایع مختلف از جمله صنایع هوافضا، خودروسازی، الکترونیک و غیره دارد. اما از آنجایی که در برخی از کاربردهای مهندسی از استحکام مناسبی برخوردار نیستند لذا در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی جهت تولید کامپوزیت‌های زمینه آلومینیوم از طریق فرایندهای مختلف صورت گرفته است. یکی از روش‌های افزایش استحکام در کامپوزیت‌های فوق پخش نمودن ذرات ریز مقاوم به دمای بالا در زمینه می‌باشد به گونه‌ای که ذرات به صورت یکنواخت در ساختار فلز پایه آلومینیوم پراکنده گردند. در این تحقیق پارامترهای موثر بر سنتز کاربید آلومینیوم به روش آلیاژسازی مکانیکی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور پودر آلومینیوم خالص و گرافیت با نسبت استوکیومتری داخل دستگاه آسیاب سیاره‌ای شارژ و با نسبت مواد به گلوله ۱:۲۰ در زمان‌های گوناگون مورد فعال سازی قرار گرفت. فازهای تشکیل شده و اندازه ذرات توسط آنالیز پراش پرتوی ایکس و میکروسکپ الکترونی روبشی شناسایی و زمان بهینه آسیابکاری تعیین گردید. نتایج نشان می‌دهد که بدون انجام عملیات حرارتی هیچ گونه واکنشی بین پودر آلومینیوم و کربن در حین آلیاژسازی مکانیکی رخ نداده و آلیاژسازی مکانیکی عامل ایجاد ساختار آمورف می‌باشد. بعد از عملیات آلیاژسازی به مدت ۳۰ ساعت اندازه ذرات به شدت کاهش یافته و تغییر فرم بالای ذرات آلومینیوم، که ضمن فرایند آلیاژسازی مکانیکی حاصل می‌شود، منجر به افزایش انرژی داخلی ذرات گردیده و نهایتاً تشکیل شدن Al_4C_3 در زمینه آلومینیوم را به همراه دارد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد،

Aghababaei.ebrahim@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۳- استادیار، بخش مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۴- استادیار، بخش مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

واژه‌های کلیدی: آلیاژسازی مکانیکی، سنتز، کاربرد آلومینیم، آنیل

۱. مقدمه

منابع وسیعی از کانی‌های آلومینیوم در جهان وجود دارد و آلومینیوم به دلیل قابلیت شکل پذیری بالا و وزن پایین آن بعد از آهن بیشترین مصرف را در بین فلزات دارد [۱]. از آنجایی که آلومینیوم و آلیاژهای آن دارای مقاومت به سایش کم و استحکام پایین می‌باشد لذا تحقیقات وسیعی بر روی افزایش استحکام آنها انجام پذیرفته است. تحقیقات انجام گرفته شامل توزیع ذرات سخت شامل انواع کاربیدها، بوریدها، نیترات‌ها، اکسیدها، سیلیسیدها و غیره در زمینه آلومینیوم و تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی می‌باشد [۲]. کامپوزیت‌های زمینه آلومینیوم به دلیل دارا بودن دانسیته کم، تافنس و مقاومت به خوردگی بالا، مقاومت به سایش بالا، مدول الاستیک بالا، ضریب انبساط حرارتی کنترل شده و بهبود خواص خستگی به عنوان یک ماده مهندسی پیشرفته کاربر وسیعی در صنایع مختلف از جمله صنایع اتومبیل سازی، الکترونیک، صنایع دفاعی و حتی لوازم ورزشی پیدا کرده‌اند [۳].

در حالت کلی کامپوزیت‌های زمینه فلزی می‌توانند از روش‌های متنوعی هم در حالت مذاب و هم در حالت جامد تولید شوند. در روش مذاب، ذرات قبل از ریخته‌گری در درون قالب اضافه شده و در نتیجه توزیع ذرات غیر هموزن می‌باشد. در حالت جامد فرایند متالورژی پودر مطرح می‌شود. یکی از فرایندهای تولید در حالت جامد برای ایجاد مواد هموزن و ترکیب فازهای تعادلی و غیر تعادلی از مواد تجاری، آلیاژسازی مکانیکی می‌باشد [۴].

مهمترین مزیت آلیاژسازی مکانیکی نسبت به سایر روش‌ها، سنتز و تولید مواد نوینی است که از طریق روش‌های معمول مانند ذوب و ریخته‌گری قابل ترکیب نمی‌باشند. عمده مزیت‌های دیگر این روش شامل توزیع ذرات ریز فاز ثانویه در زمینه، ایجاد ذرات با اندازه نانومتری، ایجاد فازهای آمورف، تشکیل فازهای کریستالی و نیمه کریستالی و امکان آلیاژسازی عناصری که آلیاژ کردن آنها به روش‌های دیگر مشکل است، می‌باشد [۵]. تولید هر یک از خواص فوق به توزیع اندازه ذرات، نوع آسیاب مورد استفاده، زمان آسیابکاری و سرعت گردش آن و همچنین استفاده از مواد آلی که باعث فعال نمودن سطوح ذرات و مانع از جوش سرد مواد پودری و همچنین کلوخه شدن آنها می‌شود، بستگی خواهد داشت [۶].

هدف از تحقیق حاضر بررسی پارامترهای موثر بر توزیع یکنواخت ذرات و همچنین اثر دمای آنیل بر سنتز کاربرد آلومینیم به روش آلیاژسازی مکانیکی و تولید کامپوزیت زمینه آلومینیومی جهت افزایش استحکام و مقاومت به سایش آلومینیم می‌باشد.

۲. مواد و روش تحقیق

مواد اولیه مورد استفاده در تحقيق حاضر پودرهای اتمیزه شده آلومینیوم خالص تجاری با درصد خلوص ۹۹٪ و ماکزیمم سایز $150\mu\text{m}$ و پودر کربن با خلوص ۹۹٪ و دانه بندی $2/4\mu\text{m}$ هر دو ساخت شرکت مرک آلمان می باشند. با توجه به نسبت های استوکیومتری برای تولید کامپوزیت مورد نظر، با احتساب وزن هر گلوله ۳۰ گرم و وجود ۵ گلوله در محفظه آسیاب و وزن ۱۵۰ گرمی کل گلوله ها، نسبت وزنی مواد به گلوله ۱:۲۰ و مقدار کل مواد لازم جهت انجام آزمایش ۷/۵ گرم تعیین و در زمان های ۵، ۱۰، ۳۰ و ۴۰ ساعت آسیابکاری گردید.

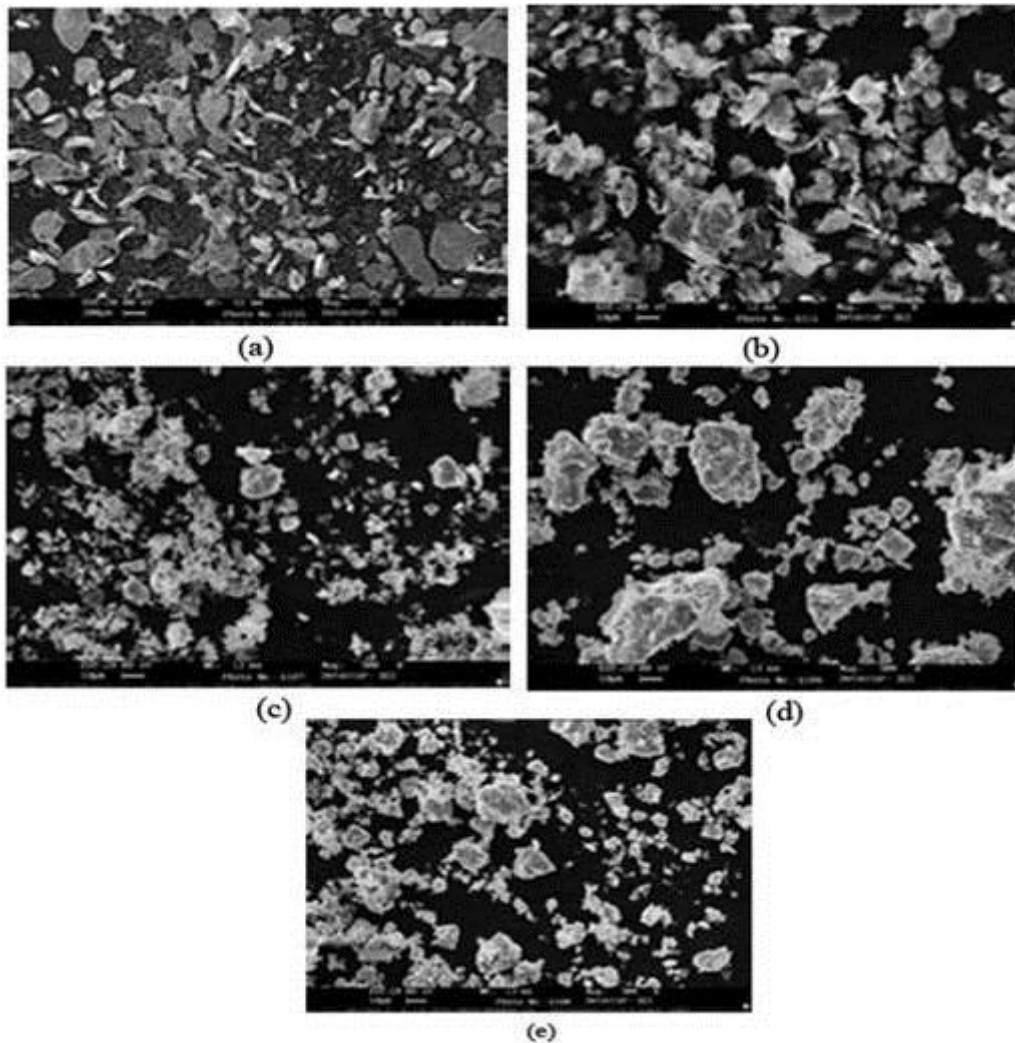
لازم به توضیح است که جهت جلوگیری از چسبیدن پودرهای آلومینیوم به گلوله ها و دیواره های آسیاب از ۰/۲ گرم اسید استناریک که به عنوان یک عامل بازدارنده محسوب می گردد، استفاده شد. جهت انجام آزمایش از آسیاب سیاره ای مدل EP2 با ۶۰۰ دور در دقیقه و تحت اتمسفر آرگون جهت جلوگیری از اکسیداسیون پودرهای آلومینیوم در حین فرایند آلیاژسازی استفاده شد. آنالیز فازی نمونه ها توسط دیفرانسیال اشعه X ساخت شرکت فیلیپس مدل X'pert صورت گرفت. ولتاژ مورد استفاده در دستگاه ۳۰ کیلو ولت و جریان اعمالی ۳۰ میلی آمپر انتخاب گردید. جهت بررسی نوع فازهای تشکیل شده از اشعه ایکس با طول موج $1/5405$ آنگستروم استفاده شد. نرخ روبش ۰/۰۵، اندازه گام روبش ۰/۰۵ درجه و محدوده روبش ۰ تا ۱۰۰ درجه انتخاب شد. جهت شناسایی فازها نیز از نرم افزار High X'pert Score استفاده شد. ساختار و اندازه ذرات محصولات تولیدی بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل AIS-2100 مجهز به آنالیز عنصری EDX مورد بررسی قرار گرفت.

۳. بحث و نتایج

شکل ۱ نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی حاصل از عملیات مخلوط کردن به مدت ۱۵ دقیقه و همچنین آسیابکاری به ترتیب به مدت ۵ ساعت و ۱۰ ساعت، ۳۰ ساعت و ۴۰ ساعت را نشان می دهد.

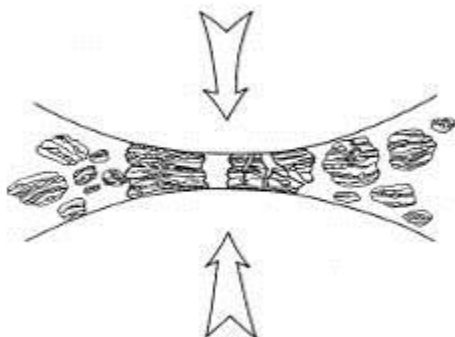
همانطور که مشخص است با افزایش زمان آسیابکاری اندازه دانه ها ریزتر شده است. با توجه به این که در ابتدای عملیات آسیابکاری بدلیل اینکه فرایند جوش سرد بر شکست ترد غالب می باشد، یک افزایش نسبی در اندازه دانه ها را شاهد بوده که تقریباً اندازه دانه ها ۳ برابر مقدار اولیه می باشد. مطابق شکل ۱ پودرهای نرم آلومینیوم که فقط به مدت ۱۵ دقیقه مخلوط گردیده اند با زیاد شدن زمان آسیابکاری به ترتیب از حالت کروی شکل به سمت پوسته ای و سوزنی شکل رفته است. که این منجر به افزایش اندازه ذرات می شود که در بعضی از موارد، این افزایش اندازه ذرات پودر حتی تا ۳ برابر نیز ثبت شده است ولی در نهایت با ریز شدن اندازه ذرات مواجه خواهیم بود علت افزایش اندازه ذرات در ابتدای مرحله فرایند آلیاژسازی را باید در این موضوع جستجو کرد که در فرایند آلیاژسازی مکانیکی دو فرایند

جوش سرد و شکست ذرات حاکم می‌باشند، که با تعادل رسیدن این دو فرایند با یکدیگر، فرایند آلیاژسازی مکانیکی نیز تمام می‌شود [۷۶] مطابق شکل ۲ ضمن آسیابکاری ذرات پودر به طور مکرر شکسته و جوش می‌خورند. زمانیکه دو گلوله به یکدیگر برخورد می‌کنند، مقداری پودر از بین آنها می‌ریزد، برای نمونه در حدود ۱۰۰۰ ذره در مجموعه‌ای با وزن تقریبی 0.2mg در هر برخورد. انرژی ضربه‌ای موجب تغییر فرم پلاستیکی ذرات پودر شده و منجر به کار سختی و شکست می‌شود [۹۸]. سطوح جدید ایجاد شده قادر است ذرات را به یکدیگر جوش داده و موجب افزایش اندازه ذرات گردد، در حالی که در ابتدای مرحله آسیابکاری ذرات نرم بوده و به همین دلیل، تمایل آنها برای چسبیدن به یکدیگر و افزایش اندازه ذرات نیز بالا می‌باشد. به این طریق اندازه ذرات افزایش می‌یابد، به طوریکه این ابعاد در برخی از موارد به بزرگی سه برابر مقدار اولیه رسیده و ترکیب ذرات در این مرحله شامل ساختمان لایه‌ای بوده که متفاوت از ساختمان اولیه می‌باشد [۱۰ و ۱۱].



شکل ۱. تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی از مورفولوژی نمونه‌های مورد آزمایش (a) ۱۵ دقیقه (b) ۵ ساعت (c) ۱۰ ساعت (d) ۳۰ ساعت و (e) ۴۰ ساعت آسیابکاری

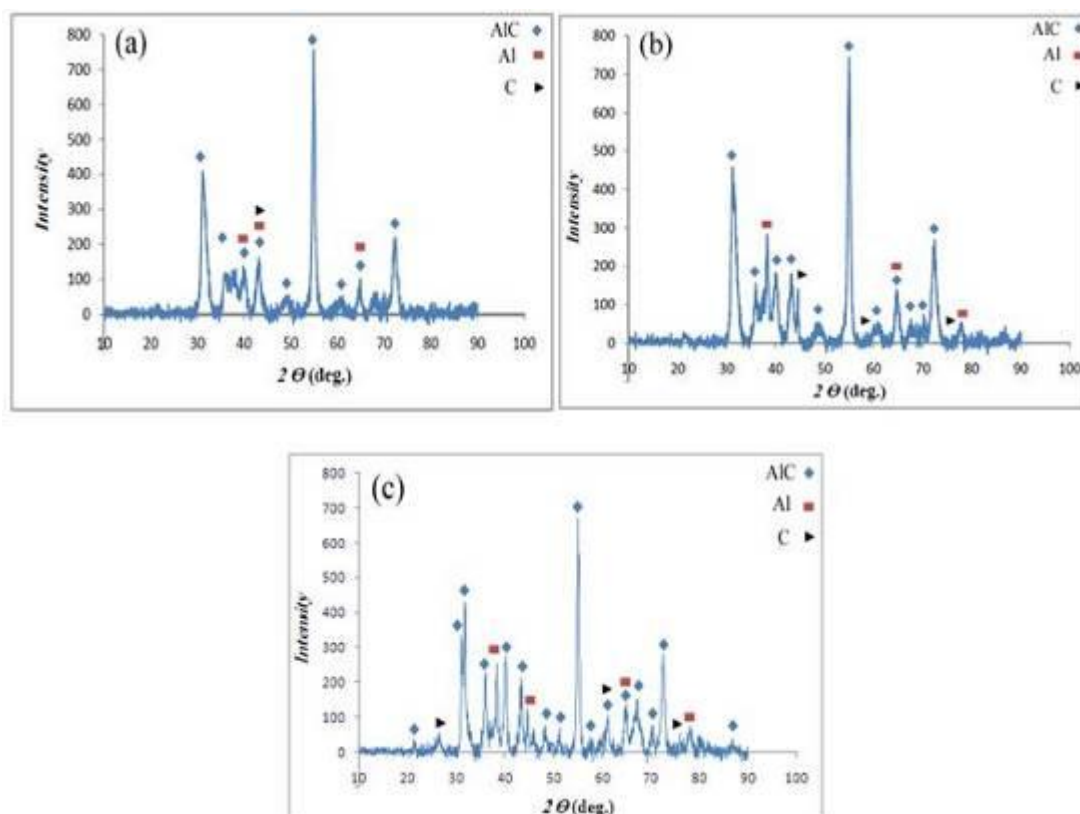
ذرات کار سخت شده، توسط مکانیزم شکست خستگی و یا شکست پوسته‌های ترد، ریز می‌شوند، در این مرحله، شکستن ذرات توسط این مکانیزم ادامه پیدا کرده، چرا که به دلیل وجود نداشتن یک مکانیزم قوی جهت جوش خوردن ذرات به یکدیگر باعث کاهش اندازه ذرات می‌شود [۱۲]. در این مرحله تمایل برای شکست بیشتر از جوش سرد می‌باشد. بدلیل ادامه ضربه گلوله‌ها و آسیابکاری، ساختمان ذرات به صورت یکنواخت در می‌آیند و در نهایت فضای بین لایه‌ها کاهش می‌یابد، به هر حال باید به خاطر داشته باشیم که بازده کاهش اندازه ذرات خیلی کم می‌باشد [۱۳ و ۱۴].



شکل ۲. شماتیک برخورد پودر و گلوله‌ها حین فرآیند آلیاژسازی مکانیکی [۱۲]

بعد از آسیابکاری در یک زمان معین، حالت تعادل حاصل می‌شود، زمانیکه فرایند جوش سرد حاکم می‌باشد، تمایل جهت افزایش ذرات بیشتر می‌باشد. ذرات ریزتر تغییر فرم را بیشتر تحمل می‌کنند، در حالیکه تمایل دارند به یکدیگر بچسبند تا به ذرات بزرگتر تبدیل شوند [۱۵]. به منظور تشخیص تشکیل کاربید آلومینیوم و بررسی هرگونه تغییرات ساختمانی در ضمن آلیاژسازی مکانیکی از نمونه‌ها الگوی پراش پرتوی ایکس (XRD) تهیه گردید و از طریق پیک‌های حاصله، ابعاد و اندازه دانه‌ها قبل و بعد از آلیاژسازی مکانیکی تشخیص داده شد. نتایج حاصل از الگوی پراش پرتوی ایکس که در شکل ۳ گزارش شده است نشان می‌دهد که ضمن آلیاژسازی مکانیکی هیچگونه واکنش شیمیایی بین پودرهای گرافیت و آلومینیوم اتفاق نمی‌افتد، ضمن آلیاژسازی مکانیکی به دلیل تغییر فرم بسیار بالای پودرهای آلومینیوم، منجر به افزایش انرژی داخلی این پودرها شده است [۱۶ و ۱۷]، لذا جهت انجام واکنش بین گرافیت و آلومینیوم نیاز به آنیل کردن بلافاصله بعد از آلیاژسازی مکانیکی می‌باشد، چرا که ذرات گرافیت بر روی سطح ذرات آلومینیوم تجمع کرده‌اند

و جهت نفوذ به داخل این ذرات نیاز به یک اکتیواسیون حرارتی می‌باشد، از آنجایی که انرژی داخلی پودرهای آلومینیوم در اثر آلیاژسازی مکانیکی بسیار بالا می‌باشد، این انرژی داخلی نیز می‌تواند به عنوان یک نیروی محرکه جهت انجام واکنش بکار گرفته شود [۱۸]، به هر حال مقایسه بین پیک‌های حاصل از پراش پرتوی ایکس، پودرهای آلیاژسازی شده و پودرهای عناصر پیش از آلیاژسازی، نشان می‌دهد که آلیاژسازی مکانیکی عامل تغییر فرم بسیار بالای پودرها بوده و هرچه این زمان بالاتر رود ساختار کریستالی آلومینیوم به سمت حالت آمورف پیش می‌رود.

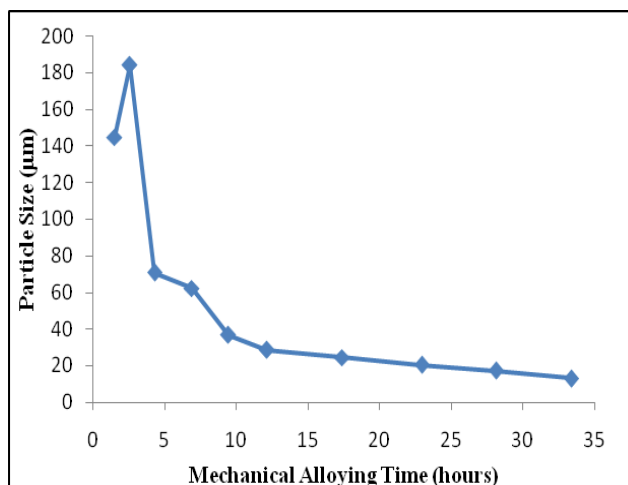


شکل ۳. الگوی پراش پرتوی ایکس مربوط به نمونه‌های آسیابکاری شده و آنیل شده به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد (a) ۱۰ ساعت آسیابکاری (b) ۳۰ ساعت آسیابکاری (c) ۴۰ ساعت آسیابکاری

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد عامل دیگری که می‌تواند بر روی تغییر ساختار کریستالی و سوق دادن به سمت ساختار آمورف مؤثر باشد، بالا بودن نسبت گلوله به پودر است، هرچه این نسبت بالاتر رود این گذار از حالت کریستالی به آمورف سریعتر اتفاق می‌افتد [۱۹]. اندازه‌گیری ابعاد پودرها قبل و بعد از آلیاژسازی مکانیکی به مدت ۴۰ ساعت نشان داد که این ابعاد از $120\ \mu\text{m}$ به طور متوسط به $11\ \mu\text{m}$ بعد از ۴۰ ساعت آلیاژسازی تغییر کرده است، نتایج حاصل در شکل ۴ گزارش شده است. پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های زیر ۱۰ ساعت آسیابکاری مشخص کرد که هیچگونه تغییر فازی در این پودرها مشاهده نشده است. نتایج نشان می‌دهد که کاربرد آلومینیوم در شرایط ۱۰ ساعت

آسيابکاری در دستگاه آسياب سياره‌ای سپس عمليات حرارتي پس از آسيابکاری در دمای ۵۵۰ و نگه داشتن در اين دما به مدت ۲ ساعت به صورت ایزوترم تشکیل خواهد شد.

آلياژسازی مکانیکی در زمانهای بالاتر از ۱۰ ساعت نشان داد که فاز کاربيد آلومينيوم هم به لحاظ شدت پیک ها و هم به لحاظ مقدار کمی افزایش یافته است.



شکل ۴. نمودار تغییرات اندازه دانه با افزایش زمان آسيابکاری

در زمانهای کمتر آلياژسازی مکانیکی، اندازه ذرات پودر به حد کافی کوچک نبوده و سطوح آنها محتوی یک لایه اکسیدی می باشد که این لایه اکسیدی واکنش بین آلومينيوم و گرافیت را کاهش داده و مانع از تشکیل فاز کاربيد آلومينيوم می شود. ادامه فرایند آلياژسازی در زمانهای طولانی تر منجر به شکسته شدن این لایه اکسیدی در سطح آلومينيوم شده و نهایتاً این ذرات به یکدیگر جوش خورده، شکسته شده و گرافیت به داخل ذرات آلومينيوم نفوذ می کند. به همین دلیل است که ذرات کاربيد آلومينيوم ضمن عمليات حرارتي به جای شکل گیری بر روی سطوح در داخل ذرات آلومينيوم شکل خواهند گرفت [۲۰]. به علاوه زمان طولانی تر آلياژسازی مکانیکی باعث تغییر فرم بیشتر ذرات آلومينيوم شده و با افزایش انرژی داخلی ذرات، تشکیل کاربيد آلومينيوم را تسهیل می کند.

۴. نتیجه گیری

۱- الگوهای پراش پرتو ایکس در نمونه‌های آسيابکاری شده در زمانهای مختلف نشان داد که کاربيد آلومينيوم حتی در زمانهای طولانی آلياژسازی مکانیکی تشکیل نخواهد شد و لازم است که پس از هر مرحله آسيابکاری عمليات حرارتي مناسب نیز انجام شود، دمای بهینه و مناسب جهت انجام این عمليات حرارتي دماهای زیر نقطه‌ی ذوب آلومينيوم می باشد.

- ۲- در زمان‌های زیر ۱۰ ساعت آلیاژسازی مکانیکی هیچگونه فاز کاربید آلومینیوم تشکیل نخواهد شد.
- ۳- با افزایش زمان آلیاژسازی مکانیکی، مورفولوژی ذرات پودر از حالت کروی به ساختار لایه‌ای تبدیل و باعث کاهش در ابعاد ذرات خواهد شد.
- ۴- فرایند آلیاژسازی مکانیکی باعث ایجاد کارسختی در ذرات شده که نتیجه آن کاهش خاصیت تراکم پذیری و همچنین کاهش دانسیته ذرات و خواص مکانیکی می باشد.
- ۵- تغییر فرم بالای ذرات آلومینیوم که ضمن آلیاژسازی مکانیکی حاصل می‌شود، باعث افزایش انرژی داخلی این ذرات شده و این انرژی داخلی می‌تواند همچون یک نیروی محرکه جهت تشکیل کاربید آلومینیوم ضمن عملیات حرارتی پس از آلیاژسازی مکانیکی عمل کند و هر چه این تغییر فرم بالاتر باشد مقدار کاربید آلومینیوم تشکیل شده بیشتر خواهد شد.

۵. مراجع

- [1] H.E. Tulgar, Metallurgy of non-ferrous metals, Istanbul Tech. university; 1987, p. 325-402.
- [2] H. Arik, M. Turker, S. Saritas, "Investigation of the mechanical properties of in situ Al₄C₃ reinforced aluminum based composites by mechanical alloying technique", Journal of Power Metallurgy, 2000, 543-549.
- [3] I.A. Ibrahim, F.A. Mohamed, E.J. Lavemi, "Particulate reinforced metal matrix composite", Journal of Mater Science, 26, 1991, 1137-1156.
- [4] Y.X. Lu, X.M. Meng, C.S. Lee, "Microstructure and mechanical behavior of a SiC particles reinforced Al-5Cu composite under dynamic loading", Journal of Mater Processing Technology, 94, 1999, 175-178.
- [5] J.S. Benjamin, E. Artz, C. Schultz, "New Materials by mechanical alloying techniques", Colw-Hirson (FRG), 1998, 3-19.
- [6] J.S. Benjamin, T.E. Volin, "The Mechanism of mechanical alloying", Journal of Metal Trans, 5, 1974, 1929-1933.
- [7] J.J. Fischer, J.H. Weber, " Mechanical alloying", Journal of Advanced Mater processes, 10, 1990, 43-50.
- [8] R.M. German, Powder metallurgy Science. New Jersey Metal Powder. Ind. Fed, 1984.
- [9] J.H. Tweed, "Manufacture of 2014 aluminum reinforced with SiC particulate by vacuum hot pressing", Journal of Mater Science Engineering, 35, 1991, 73-76.

- [10] G. Jangg, M. Slesar, M. Besterce, "Influence of heat treatment during manufacturing of Al-Al₄C₃ Materials on Microstructure and properties", Journal of Mater Science Engineering, 21, 1989, 25-30.
- [11] R.F. Singer, W.C. Oliver, W.D. Nix, "Identification of dispersoid phases created in aluminum during mechanical alloying", Journal Metal Trans, 11, 1980, 1895-1901.
- [12] J.A. Rodriguez, J.M. Gallardo, E.J. Herrera, " Structure and properties of a attrition-milled aluminum powder", Journal of Material Science, 32, 1997, 3535-3539.
- [13] C. Suryanarayana, Bibliography on mechanical alloying and milling, Cambridge international Sci, 1995.
- [14] P.S. Gilman, W.D. Nix, "The structure and properties of aluminum alloys produced by mechanical alloying", Journal of Metal Trans A, 12A, 1981, 813-823.
- [15] H.S. Kim, D. Kum, S. Hanada, " Structural evolution during mechanical alloying and annealing of a Nb-25 at.% Al alloy", Journal of Mater. Science, 33, 2000, 235-239.
- [16] M. Zhu, X.Z. Chw, Z.X. Li, " Mechanical alloying of immiscible pb-Al binary system by high energy ball milling", Journal of Mater. Science, 33, 1998, 5873-5881.
- [17] Z.G. Liu, J.T. Guo, L.Z. Zhou, "Mechanical alloying synthesis and structural characterization of ternary Ni-Al-Fe alloys", Journal of Mater. Science, 1997; 32: 4857-4864.
- [18] C.E. Wen, K. Kobayashi. A. Sugiyama, "Synthesis of nonocrystallite by mechanical alloying and in situ observation of their combustion phase transformation in Al₄C₃, Journal of Mater. Science, 35, 2000, 2099-2105.
- [19] Z.A Munir, "Synthesis of High Temperature Materials by self- propagating Combustion Methods", Journal of AM. Ceram. Soc. Bull, 67, 1988, 342-349.
- [20] C. Suryanarayana, " Mechanical alloying and milling", Journal of Progress in Material Science, 46, 2001, 25.

Effect of annealing temperature on synthesis of aluminum carbide with mechanical alloying process

Ebrahim Aghababae*, Mohsen Saboktakin Rizi, Reza Ebrahimi, Masoud Kasiri

**Corresponding Author Address: Faculty of materials engineering, Islamic Azad university, Najafabad Branch, Isfahan, Iran.*

Corresponding Author E-mail :Aghababaei.ebrahim@yahoo.com

Abstract

Guidelines Aluminum and its alloys due to the ease of formability and lightweight have a wide application in variety of industries including aerospace, automotive, electronics and so on. But because do not have enough strength in some engineering applications, many research has been on the production of aluminum composites by mechanical alloying process in recent years. In this study the effect of annealing temperature on the synthesis of aluminum carbide product whit mechanical alloying process has been studied. Phase formation and particle size identified by scanning electron microscopy and X-ray diffraction analysis and determine the optimal grinding. The experimental results show that no chemical interaction occurred between Al powders and carbon black during mechanical alloying processing and mechanical alloying causing high deformation of powders, which results in the formation of amorphous structure. after the mechanical alloying for 30 hours, and the annealing temperature in 550 °C resulted in higher deformation of Al particles and caused a high internal energy, This energy facilitated the formation of the Al₄C₃ phase during sintering.

Keywords: Composite, Mechanical alloying, Powder metallurgy