دانشکده فنی و مهندسی

بررسی پارامترهای موثر بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیتهای آلومینیوم–آلومینا تهیه شده به روش آلیاژسازی مکانیکی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی مواد گرایش سرامیک

دانشجو

مریم حسینعلی‌نژاد

اساتید راهنما

دکتر محمدمسعود محبی

دکتر سعید باغشاهی

شهریور ۱۳۹۰

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مواد و متالورژی

بررسی پارامترهای موثر بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیتهای آلومینیوم–آلومینا تهیه شده به روش آلیاژسازی مکانیکی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی مواد گرایش سرامیک

دانشجو
مریم حسینعلی‌نژاد

اساتید راهنما
دکتر محمدمسعود محبی
دکتر سعید باغشاهی

استاد مشاور
دکتر مسعود امامی

شهریور ۱۳۹۰

سپاسگزاری

سپاس فراوان پروردگار یکتا را که بنده‌ی ناچیز خود را بخشید و به طریق علم و دانش رهنمون شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخر نمود و خوشه‌چینی علم و دانش را روزی‌مان ساخت.

اینک در آستانه راهی نو بر خود لازم می‌دانم مراتب قدردانی صمیمانه خود را از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر محمدی و آقای دکتر باغشاهی که با راهنمایی‌ها و هدایت این پژوهش را به عهده داشتند و با راهنمایی‌های دلسوزانه در تمامی مراحل این پژوهش یاری نمودند، به عمل آورم و از فراوان تقدیر به محضر آقای دکتر امکه‌ای که با راهنمایی‌های ایشان بنده را در تهیه و تدوین این پژوهش یاری نمودند تشکر و سپاس خالصانه به محضر استاد ارجمند جناب آقای دکتر تقوی آبادکی که سال‌ها افتخار شاگردی ایشان را داشته‌ام و هم‌اکنون از راهنمایی‌های ایشان بهره برده‌ام همچنین تشکر و قدردانی می‌نمایم از همکاران محترم آزمایشگاه‌ها و همه کسانی که مرا در این عرصه یاری نموده‌اند.

تقدیم به شایسته‌ترین‌ها

پدر بزرگوارم و مادر مهربانم

آنانکه خدای مهربان نگاهی به چهره پر مهرشان را

به قیمت عبادت خود خریدار است.

خواهرانم

تکه‌تم و زهرا

آن‌کاهیشان صلابت بخشگاهیم بود.

چکیده

اخیرا نانوکامپوزیت های زمینه آلومینیومی با ذرات تقویت کننده سرامیکی به خاطر کاربرد فراوانشان در مواد مهندسی مورد بررسی گسترده قرار گرفته اند. پیش‌تر تاثیر افزودن تقویت کننده‌هایی نظیر Al_2O_3 و SiC در کامپوزیت های زمینه آلومینیومی بررسی گردیده و مطالعات بسیاری روی خواص مکانیکی و رفتار سایشی آنها در دمای اتاق انجام شده است اما مطالعه بر روی خواص سایشی این مواد در دمای بالای به ندرت انجام شده است. در این پژوهش تاثیر زمان آسیاب و مقدار تقویت کننده بر خواص مکانیکی نانو کامپوزیت های $Al-Al_2O_3$ از جمله رفتار سایشی آنها در دمای بالا مورد بررسی قرار گرفت. برای تهیه نانوکامپوزیت به روش آسیابکاری مکانیکی، از مخلوط پودر Al با اندازه ذرات کمتر μm ۴۵ و ۱۰ درصد وزنی نانوپودر آلومینا بعنوان فاز تقویت کننده در آسیاب سیاره ای با سرعت چرخش rpm۲۵۰ و تحت اتمسفر آرگون در زمان های ۵، ۱۰، ۱۵و ۲۰ ساعت نمونه برداری شده و مورد بررسی قرار گرفت و دیده شد که در مدت ۱۵ ساعت شرایط پایا ایجاد شده است. پودرهای آسیاب شده در زمان پایا حاوی مقادیر ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی فاز تقویت کننده آلومینا و نیز پودرهای حاوی ۱۰ درصد وزنی آلومینا حاصله از آسیابکاری در زمانهای مختلف، جهت زینترینگ تحت فشار MPa۶۰۰ و دمای ^oC۴۰۰ به مدت ۴۰ دقیقه پرس گرم شدند. خواص فیزیکی (دانسیته و تخلخل) و خواص مکانیکی از قبیل میکروسختی، استحکام فشاری و خواص تریبولوژیکی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات فازی و ریز ساختار نمونه ها توسط XRD و SEM مطالعه شد. نتایج نشان داد سختی، استحکام فشاری و مقاومت به سایش با زمان آسیابکاری و درصد تقویت کننده افزایش یافته درصورتیکه دانسیته نسبی کاهش می یابد. همچنین خواص سایشی نمونه‌ها در دمای ^oC۲۰۰ در مقایسه با دمای اتاق بهبود می‌یابد و سایشی آرام با نرخ سایش نسبتا کم مرسوم به مکانیزم اکسایشی اتفاق می افتد.

واژه‌های کلیدی: نانوکامپوزیت، آلیاژسازی مکانیکی، آلومینیوم، خواص سایشی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	
۱-۱مقدمه	۲
۱-۲ هدف پژوهش	۴
فصل دوم: مروری بر منابع	
۲-۱ کامپوزیت	۷
۲-۱-۱ انواع کامپوزیت	۷
۲-۱-۲ کامپوزیت های زمینه فلزی	۹
۲-۱-۳ خواص کامپوزیت های زمینه فلزی	۱۱
۲-۲ انواع کامپوزیت های زمینه فلزی	۱۲
۲-۲-۱ انواع روش های تهیه کامپوزیت های زمینه آلومینیومی	۱۲
۲-۲-۱-۱ ریخته گری تحت فشار	۱۳
۲-۲-۱-۲ ریخته گری گردابی	۱۴
۲-۲-۱-۳ تزریق مذاب	۱۵
۲-۲-۱-۴ پاشش همزمان	۱۵
۲-۲-۱-۵ متالورژی پودر	۱۶
۲-۳ تقویت کننده های زمینه آلومینیوم	۱۸
۲-۳-۱ آلومینا به عنوان تقویت کننده در زمینه آلومینیوم	۲۰
۲-۴ ساخت نانو کامپوزیت	۲۴
۲-۴-۱ آلیاژسازی مکانیکی و تاریخچه	۲۴
۲-۴-۱-۱ مواد اولیه	۲۵
۲-۴-۱-۲ انواع آسیاب	۲۵
۲-۴-۱-۲-۱ آسیاب های ارتعاشی	۲۵

عنوان **صفحه**

۲-۴-۱-۲-۲ آسیاب گلوله ای سیاره ای ۲۷
۲-۴-۱-۲-۳ آسیاب سایشی ۲۸
۲-۴-۱-۲-۴ آسیاب تجاری ۲۸
۲-۴-۲ عوامل موثر بر آلیاژسازی مکانیکی ۲۹
۲-۴-۲-۱ نوع آسیاب ۲۹
۲-۴-۲-۲ محفظه آسیاب ۳۰
۲-۴-۲-۳ سرعت آسیاب ۳۰
۲-۴-۲-۴ زمان آسیابکاری ۳۰
۲-۴-۲-۵ گلوله های آسیاب ۳۱
۲-۴-۲-۶ نسبت وزنی گلوله به پودر ۳۱
۲-۴-۲-۷ فضای اشغال شده توسط پودر و گلوله در محفظه ۳۲
۲-۴-۲-۸ اتمسفر آسیاب ۳۲
۲-۴-۲-۹ عامل کنترل کننده فرایند ۳۳
۲-۴-۲-۱۰ دمای آسیابکاری ۳۳
۲-۴-۳ مکانیزم آلیاژسازی مکانیکی ۳۳
۲-۴-۳-۱ آلیاژی شدن در سیستم نرم-نرم ۳۵
۲-۴-۳-۲ آلیاژی شدن در سیستم نرم-ترد ۳۶
۲-۴-۳-۳ آلیاژی شدن در سیستم ترد-ترد ۳۷
۲-۵ آلیاژسازی مکانیکی برای ساخت کامپوزیت زمینه آلومینیوم ۳۷
۲-۶ فشردن و زینترینگ پودرهای آسیاب شده ۳۸
۲-۷ بررسی تشکیل نانوکامپوزیت زمینه آلومینیومی ۳۸
۲-۷-۱ بررسی فازی تشکیل نانو کامپوزیت زمینه آلومینیومی در حین آسیاب ۳۸
۲-۷-۲ بررسی ریز ساختاری آلومینیوم در حین آسیاب ۳۹
۲-۷-۳ بررسی خواص سختی و استحکام نانوکامپوزیت زمینه آلومینیومی ۴۲
۲-۷-بررسی خواص سایشی نانوکامپوزیت های زمینه آلومینیومی ۴۴

فصل سوم: مواد و روش تحقیق

۳-۱ مقدمه ۵۲
۳-۲ مواد اولیه ۵۲

عنوان **صفحه**

۳-۳ وسایل و تجهیزات مورد استفاده ۵۳
۳-۳-۱ ترازوی دیجیتالی ۵۳
۳-۳-۲ آسیاب گلوله ای سیاره ای ۵۳
۳-۳-۳ قالب پرس گرم ۵۵
۳-۳-۴ دستگاه پرس ۵۵
۳-۳-۵ تجهیزات متالوگرافی ۵۷
۳-۳-۶ دستگاه التراسونیک ۵۷
۳-۴ آماده سازی ۵۷
۳-۴-۱ ساخت پودر کامپوزیتی نانوساختار ۵۷
۳-۴-۲ فشردن و زینترینگ همزمان پودر ۵۸
۳-۵ بررسی های انجام شده ۵۹
۳-۵-۱ بررسی مورفولوژی و آنالیز پودر آسیاب شده ۵۹
۳-۵-۲ آنالیز فازی و تعیین اندازه دانه به کمک پراش پرتو X ۶۰
۳-۵-۳ بررسی ریزساختاری نمونه های زینترشده ۶۱
۳-۵-۴ ارزیابی دانسیته نمونه های زینترشده ۶۱
۳-۵-۴ آزمایش میکروسختی ۶۲
۳-۵-۵ آزمون استحکام فشاری ۶۳
۳-۵-۶ آزمایش سایش ۶۴

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱ مقدمه ۶۹
۴-۲ مشخصات پودر اولیه ۶۹
۴-۳ بررسی های انجام شده ۷۰
۴-۳-۱ بررسی اندازه کریستال به کمک پراش اشعه X ۷۱
۴-۳-۲ تعیین تقریبی مورفولوژی کریستال به کمک پراش اشعه X ۷۴
۴-۳-۳ بررسی های ریزساختاری ۷۵
۴-۳-۳-۱ ارزیابی خواص پودرکامپوزیت ۷۵
۴-۳-۳-۲ ارزیابی خواص نمونه های کامپوزیتی زینتر شده ۸۰
۴-۳-۳ دانسیته ۸۱

عنوان **صفحه**

۴-۳-۴ میکروسختی سنجی ۸۵
۴-۳-۵ استحکام فشاری ۸۷
۴-۳-۶ خواص سایشی ۹۱
۴-۳-۶-۱ بررسی کمی خواص سایشی ۹۱
۴-۳-۶-۲ بررسی کمی خواص سایشی در دمای بالا در مقایسه با دمای اتاق ۹۶
۴-۳-۶-۳ بررسی کیفی خواص سایشی ۱۰۴
۴-۳-۶-۴ بررسی کیفی خواص سایشی در دمای بالا در مقایسه با دمای اتاق ۱۰۷

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری ۱۱۲
۵-۲ پیشنهادات ۱۱۴
منابع و مراجع ۱۱۵
چکیده به زبان انگلیسی

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱. تصویری از اشکال مختلف تقویت کننده (انواع کامپوزیت‌های زمینه فلزی) ۸
شکل۲-۲. تصویر میکروسکوپی کامپوزیت Al-40 vol% SiC ۱۳
شکل ۲-۳. تصویر شماتیک از روش ریخته گری تحت فشار ۱۴
شکل ۲-۴. تصویر شماتیک از روش ریخته گری گردابی ۱۴
شکل ۲-۵. تصویر شماتیک از روش تزریق مذاب ۱۵
شکل ۲-۶. تصویر شماتیک از روش پاشش همزمان ۱۶
شکل۲-۷. تصویر شماتیک از مراحل پروسه‌ی متالورژی پودر برای تولید کامپوزیت زمینه فلزی ۱۷
شکل ۲-۸. مقایسه تاثیر ذرات آلومینا و کاربید سیلیسیوم بر استحکام نهایی آلومینیوم ۱۸
شکل ۲-۹. تاثیر مقدار فاز دوم بر استحکام نهایی کامپوزیت های زمینه آلومینیومی ۱۹
شکل ۲-۱۰. درصد ازدیاد طول بر حسب درصد حجمی ذرات تقویت کننده ۱۹
شکل ۲-۱۱. مقایسه فصل مشترک آلومینیوم- سرامیک توسط SEM ۲۰
شکل ۲-۱۲. تاثیر نوع فاز دوم بر سطح شکست ۲۱
شکل ۲-۱۳. تاثیر درصد آلومینا بر سختی ۲۲
شکل ۲-۱۴. الگوی پراش پرتوایکس ZnO احیا شده توسط آلومینیوم ۲۳
شکل ۲-۱۵. توزیع ذرات آلومینا در آلومینیوم ۲۳
شکل ۲-۱۶. محفظه استوانه ای از جنس تنگستن کاربید و گلوله های مورد استفاده ۱۷
شکل ۲-۱۷. تصویری از آسیاب ارتعاشی Spex 800 ۲۶
شکل ۲-۱۸.a) آسیاب سیاره ای با چهار محفظه چرخش b و c) نحوه حرکت در آسیاب سیاره ای ۲۷
شکل ۲-۱۹. a) آسیاب سایشی b) نحوه حرکت چرخش پره های افقی روی شفت عمودی ۲۸
شکل ۲-۲۰. تصویری از آسیا های تجاری ۲۹
شکل ۲-۲۱. زمان مورد نیاز برای رسیدن به اندازه ذره مشابه در خلال آسیابکاری TiB_2 ۲۹
شکل ۲-۲۲. گلوله های فولادی قبل و بعد از آسیاب ۳۱

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۲۳. اثر زمان و BPR روی اندازه ذرات ۳۲
شکل ۲-۲۴. برخورد گلوله- پودر- گلوله در طول آلیاژسازی مکانیکی ۳۴
شکل ۲-۲۵. توزیع باریک اندازه ذرات بعلت تمایل ذرات کوچک به جوش خوردن با هم و ذرات بزرگ به شکسته شدن ۳۵
شکل ۲-۲۶. ریزساختار یک ترکیب نرم-نرم ۳۶
شکل ۲-۲۷. تغییرات ریز ساختار در حین آسیاب کردن یک ترکیب پودری نرم- ترد ۳۷
شکل ۲-۲۹. الگوی تفرق اشعه X از پودر مخلوط شده مکانیکی فشرده و تف جوشی شده SiC10/Al90 بعد از ks ۸۶ آسیاب کردن ۳۹
شکل ۲-۳۰. تصویر شماتیک تغییرات مورفولوژیکی پودر Al با زمان آسیاب الف) ۰، ب) ۱، پ) ۲، ج) ۴، د) ۱۰ساعت ۴۰
شکل ۲-۳۱ .تصویرSEM تغییرات مورفولوژیکی پودر Al با زمان آسیاب :a) ۰، b) ۱، c) ۲، d) ۴، e) ۱۰h ۴۰
شکل ۲-۳۲ .تغییرات مورفولوژی و دانسیته پودر با زمان ۴۱
شکل ۲-۳۳. تصویر شماتیک تغییر فرم پودر کامپوزیت بعد از آسیاب مکانیکی انرژی بالا ۴۱
شکل ۲-۳۴. میکرو گراف SEM ذرات کامپوزیت برای درصدهای مختلف پودر آلومینا: ۲۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪ ۴۲
شکل ۲-۳۵. نحوه تشکیل کامپوزیت در حین آلیاژسازی مکانیکی ۴۳
شکل ۲-۳۶. تاثیر ذرات تقویت کننده بر استحکام و سختی آلومینیوم ۴۳
شکل ۲-۳۷. تغییرات نرخ سایش آلومینیوم ۶۰۶۱ بر حسب بار اعمالی ۴۶
شکل ۲-۳۸. تغییرات نرخ سایش کامپوزیت با افزودن ۱۰٪ ذرات زیر میکرونی Al_2O_3 بر حسب بار اعمالی ۴۶
شکل ۲-۳۹. تغییرات نرخ سایش کامپوزیت با افزودن ۲۰٪ ذرات زیر میکرونی Al_2O_3 بر حسب بار اعمالی ۴۶
شکل ۲-۴۰. تغییرات نرخ سایش کامپوزیت با افزودن ۳۰٪ ذرات زیر میکرونی Al_2O_3 بر حسب بار اعمالی ۴۷
شکل ۲-۴۱. تصویر SEM از سایش انتقالی در بار ۵ برای کامپوزیت a) ۳۰٪ وزنی آلومینا b) ۱۰٪ درصد وزنی آلومینا ۴۸
شکل ۲-۴۲. تصویر SEM از سایش شدید در بار ۱۰ برای کامپوزیت a) ۱۰٪ وزنی آلومینا b) زمینه ۴۸
شکل ۲-۴۳. تغییرات نرخ سایش با (a) درصد تقویت کننده و بار (b) درصد تقویت کننده و دما (c) دما و بار ۴۹
شکل ۲-۴۴. تصاویر از سطح سایش (a) Al خالص (b) Al- 5%TiC (c) Al- 15%TiC در دمای اتاق با بار ۲۰ N ۵۰
شکل ۲-۴۵. تصاویر از سطح سایش (a) Al خالص (b) Al- 5%TiC (c) Al- 15%TiC در دمای °C ۲۰۰ با بار ۲۰ N ۵۰
شکل ۳- ۱. مراحل پژوهش برای ساخت و بررسی خواص نانوکامپوزیت با زمینه Al خالص و تقویت کننده ۵۲

عنوان **صفحه**

شکل ۳- ۲. تصویر آسیاب گلوله ای سیاره ای پر انرژی ۵۴
شکل ۳- ۳. سایز گلوله ها مورد استفاده در آسیاب سیاره ای ۵۴
شکل ۳- ۴. تصویر قالب پرس گرم از جنس گرمکار ۵۵
شکل۳-۵. دستگاه پرس تک محور جهت فشردن پودر ۵۶
شکل ۳- ۵. تصویر گرمکن به همراه تابلوی کنترل دما ۵۶
شکل ۳- ۶. تصویر دستگاه التراسونیک ۵۷
شکل ۳- ۷. دستگاه SEM مدل Cam Scan 2300 ۵۹
شکل ۳- ۸. تصویر میکروسکوپ نوری مجهز به مانیتورینگ ۶۱
شکل ۳- ۹. تصویر دستگاه میکرو سختی سنج ۶۳
شکل ۳- ۱۰. تصویر دستگاه فشار مجهز به مانیتورینگ ۶۴
شکل ۳- ۱۱. تصاویر شماتیک از روش های مختلف تست سایش: a) نمونه بر دیسک، b) نمونه بر صفحه ۶۴
شکل ۳- ۱۲. جزییات تست سایش بر روی نمونه های کامپوزیتی ۶۶
شکل ۳- ۱۳. تصویر دستگاه سایش مجهز به مانیتیورینگ ۶۷
شکل ۴-۱. تصویر SEM از a) پودر آلومینیوم خالص، b) نانو پودر آلومینا ۶۹
شکل ۴-۲. مقایسه الگوی پراش پرتو ایکس برای کامپوزیت Al- 10%wt Al_2O_3 در زمان های مختلف آسیابکاری در مقایسه با آلومینیوم خالص آسیابکاری نشده ۷۱
شکل ۴-۳. تغییرات موقعیت شدیدترین پیک آلومینیوم در کامپوزیت Al- 10%wt Al_2O_3 حاصل از پراش اشعه‌ی X با زمان آسیابکاری در مقایسه با آلومینیوم خالص آسیابکاری نشده ۷۱
شکل ۴-۴ تغییرات شدت پیک (۱۱۱) آلومینیوم در پودر کامپوزیت Al- 10%wt Al_2O_3 با زمان آسیاب در مقایسه با آلومینیوم خالص آسیابکاری نشده ۷۲
شکل ۴-۵. تغییرات a) اندازه دانه و b) کرنش شبکه با زمان آسیابکاری برای پودر کامپوزیتی Al- 10%wt Al_2O_3 . ۷۳
شکل ۴- ۶. نسبت شدت پیک (۱۱۱) به (۲۰۰) پودر کامپوزیت Al- 10%wt Al_2O_3 در زمان های مختلف ۷۴
شکل ۴-۷. تغییرات مورفولوژی پودر Al- 10%wt Al_2O_3 در زمان های مختلف آسیاب a) بعد از ۵ ساعت b) بعد از ۱۰ ساعت c) بعد از ۱۵ ساعت d) بعد از ۲۰ ساعت ۷۷
شکل ۴-۸. تصویر پودر کامپوزیت Al-10 wt. % Al_2O_3 بعد از ۵ ساعت آسیاب ۷۷
شکل ۴-۹. تغییرات مورفولوژی پودر کامپوزیت بعد از ۱۵ ساعت آسیابکاری برای در صد های وزنی مختلف آلومینا a) ۰، b) ۵٪، c) ۱۰٪، d) ۱۵٪ ۷۹
شکل ۴- ۱۰. تصاویر SEM از سطح نمونه های کامپوزیتی زینتر شده a Al- 10%wt Al_2O_3) بعد از ۵ و b) بعد از ۱۵ ساعت آسیاب ۸۰

عنوان **صفحه**

شکل ۴- ۱۱. تصاویر SEM از سطح نمونه های زینتر شده Al- Al_2O_3 در زمان ۱۵ ساعت آسیاب a) ۵ ، b) ۱۰ و c) ۱۵ درصد وزنی آلومینا ۸۱

شکل ۴-۱۳. مقایسه نتایج دانسیته ارشمیدسی و تئوری کامپوزیت Al- Al_2O_3 بعد از ۱۵ ساعت آسیابکاری با درصد وزنی آلومینا ۸۳

شکل ۴-۱۴. دانسیته نسبی کامپوزیت Al- 10%wt Al_2O_3 با زمان آسیاب در مقایسه با آلومینیوم خالص آسیابکاری نشده ۸۴

شکل ۴- ۱۵. تغییرات دانسیته نسبی با درصد وزنی تقویت کننده بعد از ۱۵ ساعت آسیابکاری ۸۵

شکل ۴-۱۶. تغییرات میکروسختی کامپوزیت Al- 10%wt Al_2O_3 با زمان آسیاب در مقایسه با آلومینیوم خالص آسیابکاری نشده ۸۶

شکل ۴- ۱۷. تغییرات میکروسختی کامپوزیت Al- Al_2O_3 بعد از ۱۵ ساعت آسیابکاری با درصد وزنی آلومینا ۸۷

شکل ۴- ۱۸. تغییرات استحکام فشاری کامپوزیت Al- 10%wt Al_2O_3 با زمان آسیاب در مقایسه با آلومینیوم خالص آسیابکاری نشده ۸۸

شکل ۴- ۱۹. تغییرات استحکام کامپوزیت Al- Al_2O_3 بعد از ۱۵ ساعت آسیابکاری با درصد وزنی آلومینا ۸۹

شکل ۴- ۲۰. نمودار میزان کاهش وزن بر حسب مسافت نانوکامپوزیت Al- 10%wt Al_2O_3 با زمان آسیاب، در دمای ۲۵، تحت بار a) ۱۰N و b) ۲۰N ۹۲

شکل ۴- ۲۱. نمودار مقایسه نرخ سایش کامپوزیت Al- 10%wt Al_2O_3 و آلومینیوم خالص آسیابکاری نشده با زمان آسیاب در دو بار ۱۰ و ۲۰N ۹۳

شکل ۴- ۲۲. نمودار سه بعدی نرخ سایش با تغییرات زمان آسیابکاری و نیروی عمودی اعمالی در حین سایش. ۹۴

شکل ۴- ۲۳ . تغییرات ضریب اصطکاک کامپوزیت Al- 10wt% Al_2O_3 با زمان آسیابکاری a) Al خالص، b) ۵ ساعت، c) ۱۰ ساعت، d) ۱۵ ساعت آسیابکاری؛ سایش تحت بار ۱۰N در دمای ۲۵^oC ۹۵

شکل ۴- ۲۴. نمودار میزان کاهش وزن بر حسب مسافت برای نانوکامپوزیت های با مقدار تقویت کننده متفاوت تحت بار ۲۰N؛ a) در دمای ۲۵^oC b) در دمای ۲۰۰^oC ۹۷

شکل ۴- ۲۵. نمودار مقایسه نرخ سایش کامپوزیت Al- Al_2O_3 بعد از ۱۵ ساعت آسیابکاری با درصد وزنی آلومینا در دو دمای ۲۵ و ۲۰۰^oC ۹۸

شکل ۴- ۲۶. نمودار سه بعدی نرخ سایش با تغییرات تقویت کننده و دمای اعمالی در حین سایش ۹۹

شکل ۴- ۲۷. تغییرات ضریب اصطکاک با مقدار فاز تقویت کننده: a) ۰، b) ۵ ، c) ۱۰ ، d) ۱۵ درصد وزنی؛ سایش تحت بار ۲۰N در دمای ۲۵^oC ۱۰۱

شکل ۴- ۲۸. نمودار تغییرات ضریب اصطکاک نانوکامپوزیت Al- Al_2O_3 در درصدهای وزنی مختلف در زمان پایای آسیاب: a) ۰، b) ۵ ، c) ۱۰ ، d) ۱۵ درصد وزنی تحت بار ۲۰N در دمای ۲۰۰^oC ۱۰۳

شکل ۴- ۲۹. تصاویر SEM سطوح سایشی آلومینیوم و نانوکامپوزیت Al- 10%wt Al_2O_3 a) Al خالص، b) ۵ ساعت ، c) ۱۰ ساعت، d) ۱۵ ساعت، e) ۲۰ ساعت آسیابکاری؛ سایش تحت بار ۱۰N در دمای ۲۵^oC ۱۰۶

عنوان **صفحه**

شکل ۴- ۳۰. تصاویر SEM سطوح سایشی نمونه های ۱۵ ساعت آسیابکار شده نانوکامپوزیت Al- Al_2O_3 با درصدهای وزنی مختلف a)۰، b) ۵ ، c) ۱۰ ، d) ۱۵ درصد وزنی تحت بار ۲۰N در دمای 25^oC ۱۰۸

شکل ۴- ۳۱. تصاویر SEM سطوح سایشی نمونه های ۱۵ ساعت آسیابکاری شده نانوکامپوزیت Al- Al_2O_3 در درصدهای وزنی مختلف a)۰، b) ۵ ، c) ۱۰ ، d) ۱۵ درصد وزنی؛ سایش تحت بار ۲۰N در دمای 200^oC ۱۱۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱. مقایسه مزایا و معایب کامپوزیت‌های زمینه آلومینیمی با مواد دیگر ۱۰

جدول ۳-۱. شرایط آسیابکاری با آسیاب سیاره‌ای گلوله‌ای سیارهای ۵۸

جدول ۳-۲. شرایط پرس گرم نمونه های پودری ۵۹

جدول ۳-۳. شرایط تست سایش در دو دمای مختلف ۶۵

جدول ۴-۱. آنالیز عنصری پودر آلومینیوم ۷۰

جدول ۴-۲. آنالیز عنصری ناخالصی های پودر آلومینا ۷۰

جدول ۴-۳. نتایج بدست امده از دانسیته و تخلخل نمونه های کامپوزیتی در مقایسه با نمونه های بدون تقویت کننده ۸۲

جدول ۴-۴. درصد ازدیاد طول نمونه های تست استحکام فشاری ۹۰

فهرست علائم اختصاری

MA	Mechanical Alloying
MM	Mechanical Milling
MMC	Metal Matrix Composites
PMC	Polymer Matrix Composites
CMC	Ceramic Matrix Composite
AMC	Aluminum Matrix Composite
SEM	Scanning Electron Microscopy
XRD	X-ray Diffraction
P/M	Powder Metallurgy
PCA	Process Control Agent
OM	Optical Microscopy
COF	Coefficient Of Friction
BPR	Ball to Powder Ratio
DTA	Differential Thermal Analysis
UTS	Ultimate Tensile Stress

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه

با پیشرفت علم و فناوری و در نتیجه ظهورکاربردهای جدید، مواد جدید با خواصی متفاوت از طریق روش های نوین تولید می‌شود. اصولا در این روش ها سعی در ایجاد ساختار و آرایشی است که از طریق روش های متداول و تعادلی قابل دستیابی نیست. ایجاد یک ساختار غیر تعادلی، در حقیقت اجبار یک ماده در جهت مورد نیاز می باشد. آلیاژسازی مکانیکی[1] از جمله این روش ها است که در آن این اجبار به حرکت در مسیر دلخواه ما، با انرژی ضربه گلوله ها تامین می شود.

طی این فرایند به دلیل کاهش اندازه دانه های کریستالی، خواص شیمیایی، مکانیکی، و ترمودینامیکی ساختار تغییر یافته و بتدریج این خواص تحت کنترل توزیع اندازه دانه ها، ساختارهای اتمی و انرژی چسبندگی مرزهای دانه و یا مرزهای بین فازی در می آید.

در دهه ۱۹۷۰، فرایند آسیابکاری در ذرات پودر به همراه زینترینگ در دمای بالا به عنوان یک فرایند صنعتی توسعه یافت و به طور موفقیت آمیزی در تولید آلیاژها و مخلوط های فازی جدید به کار گرفته شد. برای مثال متالورژی پودر، از توانایی بالایی در تولید آلیاژها و کامپوزیت هایی که با روش معمول مثل ریخته گری قابل دستیابی نیستند برخوردار است. به طور کلی قابلیت های این فرایند عبارتند از:

الف) توزیع یکنواخت ذرات سرامیکی در زمینه فلزی (سوپر آلیاژها برای استفاده در توربین های گازی).

ب) توانایی تولید آلیاژهایی با ترکیبات متفاوت از آلیاژهای حاصل از ریخته گری.

ج) توانایی تولید آلیاژ از فلزاتی که تفاوت نقطه ذوب زیادی دارند، با هدف بهبود مقاومت به خوردگی و استحکام.

در دهه ۱۹۸۰، تکنیک های آسیابکاری پر انرژی[2] توجه زیادی را به خود جلب کرد. این گونه فرایند های حالت جامد، غیر تعادلی هستند و می توانند ساختارهایی در مقیاس نانو تولید نمایند.

1 Mechanical milling
2 High energy milling

آلیاژسازی مکانیکی یک روش نوین در ساخت مواد نو با خواص جدیدی است که بسیاری از محدودیت های روش های دیگر را ندارد. در این روش امکان ساخت مواد با ساختار نانو و ایجاد خواص مکانیکی، فیزیکی و ... متفاوت وجود دارد. طی سالهای اخیر بخاطر خواص منحصر به فرد فلزات ریز دانه و فلزات نانوکریستالی ، نظیر نسبت استحکام به وزن بالا و امکان تولید قطعات با وزن کمتر، مطالعات وسیعی بر روی ساخت این مواد انجام گرفته است.

در این حین نیاز به موادی با استحکام بالا و وزن پایین منجر به تولید کامپوزیت های زمینه فلزی شده است که کامپوزیتهای زمینه آلومینیوم تقویت شده با ذرات سرامیک به دلیل مقاومت به سایش، مدول و استحکام بالا و خواص مناسب برای کاربردهای دما بالا در کنار سبک وزن بودن و ضریب انبساط حرارتی پایین مورد توجه صنایع مختلف می باشد.

با کاهش اندازه دانه از حدود میکرومتر به نانومتر و فشرده سازی، کاهش درصد حفره ها و افزایش چگالی حاصل شده و در نتیجه استحکام تسلیم ، انعطاف پذیری و چقرمگی شکست افزایش می یابند. ذرات نانو سبب بالا بردن قابلیت واکنش پذیری، بالا رفتن سطح ویژه، توزیع یکنواخت تقویت کننده و ... می شوند. در صورت استفاده از نانو پودرها به دما و زمان زینترینگ کمتری احتیاج است. ضمن اینکه با ریز شدن دانه ها در حد نانو از لحاظ خواص ریزساختاری، فیزیکی، مکانیکی به نتایج بهتری می توان دست یافت.

روش های ذوبی، متالورژی پودر و آلیاژسازی مکانیکی از جمله تکنیک های مورد استفاده در ساخت نانوکامپوزیت های زمینه فلزی هستند که در حال حاضر آلیاژسازی مکانیکی مهم‌ترین روش تولید این مواد است. در این روش پودر دو فاز با یکدیگر آسیاب می‌شوند و با تغییر شکل، جوش خوردن و شکست و تغییر شکل مکرر ذرات، آلیاژسازی صورت می‌پذیرد. انتخاب آسیابکاری به دلیل امکان تولید موادی است که با روشهای دیگر به سختی تشکیل می شوند. به عنوان مثال مواد با دمای ذوب بالا همچون کاربیدها و سیلیکاتها با روشهای دیگر به سختی تولید می شوند. فرایند آسیابکاری می تواند در حالت جامد محدوده وسیعی از مواد مختلفی همچون ترکیبات بین فلزی، آلیاژها با عناصر غیر قابل حل و ترکیبات سرامیکی تولید کند. همچنین این فرایند می تواند به عنوان یک عمل اولیه برای فعالسازی مکانیکی مواد باشد.