کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

مقالات خارجی

……..……, **Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.**

مقالات داخلی

.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

دانشکده مهندسی
گروه آموزشی مهندسی مواد

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد گرایش شناسایی و انتخاب مواد

عنوان:

بررسی خواص کامپوزیت زمینه آلومینیوم تقویت شده با ذرات سرامیکی

استاد راهنما:
دکتر شهاب کاظمی

نگارش:
محمدعلی سونامیا

۲۵ شهریور ماه ۱۳۹۲

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر، مادر و همسر عزیزم تقدیم می کنم

شمارو شنایی. بخش تاریکی جان، هستی و ظلمت اندیشه را نور می. بخشی. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف تو را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی تو را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه تو مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف.

تقدیم به استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر شهاب کاظمی

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

بررسی خواص کامپوزیت زمینه آلومینیوم تقویت شده با ذرات سرامیکی

نام نویسنده: محمدعلی سونامیا

نام استاد/اساتید راهنما: دکتر شهاب کاظمی

نام استاد/اساتید مشاور: -

دانشکده : مهندسی	**گروه آموزشی: مهندسی مواد**	
رشته تحصیلی: مهندسی مواد	**گرایش تحصیلی: شناسایی و انتخاب مواد**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب پروپوزال: ۱۳۹۱/۶/۲۰	**تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۶/۲۵**	**تعداد صفحات: ۱۲۶**

چکیده:

در این تحقیق، کامپوزیت‌های زمینه آلومینیوم تقویت شده با درصدهای وزنی ۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ از ذرات کاربید سیلیسیم و رس تولید شده با روش متالورژی پودر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. پس از انجام پرس و شکل‌دهی نمونه‌ها، در محیط کوره حاوی گاز خنثی آرگون، عملیات زینترینگ در دو دمای ۶۰۰°C و ۶۵۰°C انجام شد. پس از زینترینگ، نمونه‌ها توسط آزمون‌های مختلف فیزیکی و مکانیکی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفتند که می‌توان به آزمون‌های چگالی، سختی، استحکام خمشی و بررسی ریزساختاری اشاره کرد. مشاهده شد با افزایش درصد وزنی ذرات تقویت‌کننده تا مقدار بهینه، تمامی خواص مورد بررسی با توجه به چگالی نمونه، بهبود می‌یابند. در نتایج آزمون استحکام خمشی مشخص شد که با افزایش درصد وزنی تقویت‌کننده، پیک نیرو افزایش، میزان جابجایی تا شکست کاهش (کاهش انعطاف‌پذیری) و همچنین مدول یانگ افزایش می‌یابد. با افزایش درصد وزنی تقویت‌کننده میزان سختی افزایش و چقرمگی شکست کاهش می‌یابد. با مطالعهٔ ریزساختار نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده شد با افزایش درصد وزنی ذرات تقویت‌کننده، مکانیزم شکست از نرم به ترد تبدیل یافته است. همچنین وجود ذرات فاز ثانویه یا همان تقویت‌کننده، باعث کاهش اندازهٔ دانه‌ها می‌شود. در پایان مشخص شد که نمونه‌هایی که در دمای ۶۵۰°C زینتر شدند، خواص بهتری را نسبت به نمونه‌های زینتر شده در دمای ۶۰۰°C دارا می‌باشند. همچنین با توجه به نتایج کلی، میزان ۱٪ وزنی ذرات تقویت‌کننده به‌عنوان مقدار بهینه برای افزودن به زمینهٔ آلومینیومی در نظر گرفته شد.

واژه‌های کلیدی: کامپوزیت، متالورژی پودر آلومینیوم، ذرات ریز، خمش، سختی، شکست، فلزنگاری ریزساختار

فهرست

فصل اول: مقدمه ۱
فصل دوم: مروری بر منابع ۵
۲-۱- کامپوزیت ۷
۲-۲- طبقه‌بندی کامپوزیت‌ها ۸
۲-۲-۱- زمینه ۸
۲-۲-۲- تقویت‌کننده ۹
۲-۱- نانو کامپوزیت‌ها ۱۰
۲-۲- کامپوزیت‌های زمینه فلزی ۱۰
۲-۴-۱- سیستم‌های آلیاژی زمینه ۱۲
۲-۴-۱-۱- آلومینیوم ۱۳
۲-۴-۲- تقویت‌کننده در زمینهٔ فلزی ۱۵
۲-۴-۲-۱- مکانیزم تقویت‌کنندگی ۱۷
۲-۵- ساختار و خواص کامپوزیت زمینه فلزی تقویت شده با ذرات ۱۷
۲-۵-۱- استحکام‌دهی با ذرات ۲۰
۲-۵-۲- مدول یانگ ۲۲
۲-۶- تاثیر سطح مشترک ۲۴
۲-۷- فرآیندهای تولید کامپوزیت زمینهٔ فلزی ۲۵
۲-۷-۱- فرآیندهای متالورژی ذوبی ۲۵
۲-۷-۱-۱- ریخته‌گری ادغامی یا تلاطم مذاب ۲۶
۲-۷-۱-۲- روش درون تراوی با فشار گاز ۲۶
۲-۷-۱-۳- ریخته‌گری کوبشی یا تحت فشار ۲۷
۲-۷-۲- متالورژی پودر ۲۸
۲-۸- کامپوزیت زمینه آلومینیوم ۳۰
۲-۹- خواص کامپوزیت‌های زمینه آلومینیوم تقویت شده با ذرات ۳۱
۲-۹-۱- سختی ۳۱
۲-۹-۲- استحکام فشاری ۳۵
۲-۹-۳- استحکام کششی ۳۶
۲-۹-۴- رفتار سایشی ۳۹

۲-۹-۵- رفتار در برابر ضربه ۴۱
فصل سوم: مواد و روش تحقیق ۴۳
۳-۱- فرآیند متالورژی پودر در تولید کامپوزیت ۴۵
۳-۱-۱- مواد اولیه و توزین آن‌ها ۴۶
۳-۱-۲- عملیات مخلوط کردن ۵۰
۳-۱-۳- عملیات شکل‌دهی مخلوط پودری ۵۰
۳-۱-۴- زینترینگ نمونه‌ها ۵۱
۳-۲- بررسی خواص فیزیکی ۵۱
۳-۲-۱- اندازه‌گیری چگالی کامپوزیت‌ها ۵۱
۳-۳- بررسی خواص مکانیکی ۵۳
۳-۳-۱- آزمون خمشی ۳ نقطه‌ای ۵۳
۳-۳-۲- آزمون سختی میکرو ویکرز ۵۵
۳-۴- بررسی ریزساختاری ۵۶
۳-۴-۱- عملیات متالوگرافی ۵۶
۳-۴-۲- مطالعه ساختاری کامپوزیت‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۶
فصل چهارم: نتایج و بحث ۵۹
۴-۱- بررسی خواص فیزیکی ۶۱
۴-۱-۱- اندازه‌گیری چگالی کامپوزیت‌ها ۶۱
۴-۲- بررسی خواص مکانیکی ۶۹
۴-۲-۱-استحکام خمشی ۶۹
۴-۲-۲-نتایج چقرمگی شکست ۷۳
۴-۲-۳- نتایج آزمون میکرو سختی ویکرز ۷۶
۴-۳- بررسی‌های ریز ساختاری ۸۰
۴-۳-۱- مطالعه سطوح شکست توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی ۸۰
۴-۳-۲- مطالعهٔ متالوگرافی سطح غیر شکست نمونه‌ها ۹۲
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۹
۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۱
۵-۲- چند پیشنهاد برای ادامه تحقیق ۱۰۳

مراجع ۱۰۵

فهرست جداول:

جدول ۲-۱- برخی از خواص مکانیکی آلومینیوم با درجه خلوص ۹۹/۹۹۹٪+ ۱۵
جدول۲-۲- مقایسهٔ بین خواص کامپوزیت‌های زمینه فلزی با تقویت‌کننده‌های متفاوت..... ۱۶
جدول ۲-۳- خواص منتخب کامپوزیت‌های آلومینیومی ریخته‌گری شده، تولید شده از شمش و یا die cast ۱۹
جدول۲-۴- خواص منتخب کامپوزیت‌های آلومینیومی کار شده ۲۰
جدول۲-۵- مقایسهٔ برخی خواص در فرآیندهای تولید مختلف ۳۰
جدول ۲-۶- مقایسه سختی نمونه‌های مورد پژوهش فوگاگنولو و همکاران ۳۲
جدول ۳-۱- آنالیز عنصری پودر آلومینیوم مورد استفاده به‌عنوان زمینه ۴۷
جدول ۳-۲- آنالیز عنصری پودر ذرات رس مورد استفاده به‌عنوان تقویت‌کننده ۴۷
جدول ۳-۳- آنالیز عنصری پودر ذرات کاربید سیلیسیم مورد استفاده به‌عنوان تقویت‌کننده..... ۴۸
جدول ۳-۴- پودر ذرات کاربید سیلیسیم ارائه شده توسط شرکت تامین‌کننده ۴۸
جدول ۳-۵- میزان مواد اولیه مورد استفاده در هر نمونه بر مبنای درصد وزنی تقویت‌کننده در دمای ۶۰۰°C ۴۹
جدول ۳-۶- میزان مواد اولیه مورد استفاده در هر نمونه بر مبنای درصد وزنی تقویت‌کننده در دمای ۶۵۰°C ۴۹
جدول ۳-۷- ابعاد نمونه‌های مورد نیاز برای آزمون خمشی ۳ نقطه‌ای بر اساس استاندارد ASTM-C۱۱۶۱ ..... ۵۰
جدول ۳-۸- ترکیب شیمیایی محلول اچ مورد استفاده ۵۶
جدول ۴-۱- نتایج اندازه‌گیری چگالی برای نمونه‌های ۱ الی ۴، زینتر شده در دمای ۶۰۰°C ۶۲
جدول۴-۲- نتایج اندازه‌گیری چگالی برای نمونه‌های ۵ الی ۸، زینتر شده در دمای ۶۰۰°C ۶۳
جدول ۴-۳- نتایج اندازه‌گیری چگالی برای نمونه‌های ۹ الی ۱۵، زینتر شده در دمای ۶۵۰°C ۶۴
جدول ۴-۴- نتایج اندازه‌گیری چگالی برای نمونه‌های ۹ و ۱۶ الی ۱۹، زینتر شده در دمای ۶۵۰°C ۶۵
جدول ۴-۵- مقادیراستحکام خمشی بر حسب درصد نانو ذرات رس..... ۷۲
جدول ۴-۶- مقادیراستحکام خمشی بر حسب درصد وزنی ذرات کاربید سیلیسیم ۷۲
جدول ۴-۷- نتایج چقرمگی شکست برای نمونه های ۱ الی ۸ ..... ۷۴
جدول ۴-۸- نتایج چقرمگی شکست برای نمونه های ۱۰ الی ۱۹..... ۷۵
جدول ۴-۹- میکرو سختی ویکرز نمونه های ۹ الی ۱۵..... ۷۷
جدول ۴-۱۰- میکرو سختی ویکرز نمونه های ۹ و ۱۶ الی ۱۹..... ۷۷
جدول ۴-۱۱- اصطلاحات مورد استفاده در شکست..... ۸۰

فهرست تصاویر:

شکل ۲- ۱- دسته‌بندی مواد کامپوزیتی با زمینه‌های فلزی ۱۱
شکل ۲-۲- سه نوع از کامپوزیت‌های زمینه فلزی ۱۱
شکل ۲-۳- میزان کاربردهای آلومینیوم در صنایع مختلف ۱۳
شکل ۲-۴- تغییرات چگالی آلومینیوم خالص با تغییرات دما ۱۴
شکل ۲-۵- میزان سختی و استحکام بر اساس خلوص آلومینیوم ۱۴
شکل ۲-۶- استحکام کششی و مدول یانگ برای برخی کامپوزیت‌های نیمه همسانگرد تقویت شده با الیاف و مقایسه با آلیاژهای فلزی ۱۶
شکل ۲-۷- آرایش ساختارهای متداول برای کامپوزیت‌های آلیاژ سبک تقویت شده با ذرات مختلف ۱۸
شکل ۲-۸- میزان کرنش مکانیزم‌های مختلف نسبت به نقطه تسلیم مدل میکرومکانیکی آلیاژهای آلومینیوم بعد از افزودن SiC_p ۲۲
شکل ۲-۹- میزان سختی و استحکام با توجه به حجم ذرات ۲۲
شکل ۲-۱۰- مقایسهٔ مقدار مدول یانگ محاسبه شدهٔ تئوریکی با مقدارهای تجربی تعیین شده برای کامپوزیت های تقویت شده با ذرات (LMR: قانون ترکیب خطی، IMR: قانون ترکیب وارونه) ۲۳
شکل ۲-۱۱- شماتیک از توالی عملیاتی در حین هم زدن مذاب ۲۶
شکل ۲-۱۲- تکنیک درون تراوی با فشار گاز ۲۷
شکل ۲-۱۳- ریخته‌گری کوبشی مستقیم و غیر مستقیم..... ۲۸
شکل ۲-۱۴- شماتیک آزمایش سختی ۳۲
شکل ۲-۱۵- سختی به‌عنوان تابعی از کسر حجمی ذرات ۳۳
شکل ۲-۱۶- سختی کامپوزیت با حجم ذرات اکسید منیزیم برحسب دمای ذوب ۳۳
شکل ۲-۱۷- استحکام فشاری کامپوزیت نسبت به درصد حجمی اکسید منیزیم..... ۳۵
شکل ۲-۱۸- چگالی نسبی کامپوزیت نسبت به دمای ریخته‌گری ۳۵
شکل ۲-۱۹- ریزساختار مشاهده شده توسط میکروسکوپ الکترونی ۳۶
شکل ۲-۲۰- خواص کششی آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ ریخته‌گری شده و کامپوزیت‌های زمینه آلیاژ آلومینیوم تقویت شده با نانو ذرات آلومینا..... ۳۷
شکل ۲-۲۱- مکانیزم اوروان ۳۷
شکل ۲-۲۲- نمودار تنش – کرنش کامپوزیت‌های تقویت شده با درصدهای متفاوتی از نانو ذرات کاربید سیلیسیم و مقایسهٔ آن‌ها با آلومینیوم خالص..... ۳۸
شکل ۲-۲۳- مقادیر تخلخل با افزایش درصد حجمی نانو ذرات کاربید سیلیسیم ۳۸
شکل ۲-۲۴- وابستگی وزن از دست رفته به فاصلهٔ لغزش و بار اعمالی..... ۳۹

شکل ۲-۲۵- شماتیک دستگاه آزمون سایش ۴۰
شکل ۲-۲۶- نرخ سایش کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات، ویسکر و الیاف، بر حسب افزایش درصد حجمی ۴۰
شکل ۲-۲۷- تغییرات انرژی ضربه در دماهای متفاوت برای آلومینیوم ۲۱۲۴ و مقایسه با کامپوزیت تقویت شده با ذرات کاربید سیلیسیم..... ۴۱
شکل ۲-۲۸- تغییرات انرژی ضربه در دماهای متفاوت برای آلومینیوم ۵۰۸۳ و مقایسه با کامپوزیت تقویت شده با کاربید سیلیسیم..... ۴۲
شکل ۲-۲۹- تغییرات انرژی ضربه در دماهای متفاوت برای آلومینیوم۶۰۶۳ و مقایسه با کامپوزیت تقویت شده با کاربید سیلیسیم..... ۴۲
شکل ۲-۳۰- تغییرات انرژی ضربه با افزایش اندازهٔ ذرات کاربید سیلیسیم و در دمای℃ ۲۱ ..... ۴۲
شکل ۳-۱- مراحل تولید قطعه کامپوزیت زمینه فلزی به روش متالورژی پودر ۴۶
شکل ۳-۲- پرس تک محوری هیدرولیکی..... ۵۰
شکل ۳-۳- کورهٔ تیوبی مورد استفاده برای عملیات زینترینگ ۵۱
شکل ۳-۴- شماتیک تعیین وزن نمونه در حالت تعلیق در آب ۵۲
شکل ۳-۵- توزیع نیرو در آزمون خمشی سه نقطه‌ای..... ۵۳
شکل ۳-۶- شماتیک انجام آزمون خمشی سه نقطه‌ای..... ۵۴
شکل ۳-۷- دستگاه آزمون خمشی..... ۵۴
شکل ۳-۸- شماتیک آزمون خمشی سه نقطه‌ای ۵۵
شکل ۳-۹- شماتیک اثر فروروندهٔ هرم مربع القاعده و قطرهای به وجود آمده ۵۵
شکل ۳-۱۰- دستگاه آزمون میکرو سختی ویکرز..... ۵۵
شکل ۳-۱۱- میکروسکوپ الکترونی روبشی با مدل Jeol-۸۴۰..... ۵۷
شکل ۴-۱- تغییرات چگالی با افزایش درصد وزنی ذرات رس با دمای زینتر ۶۰۰℃..... ۶۲
شکل ۴-۲- تغییرات چگالی با افزایش درصد وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با دمای زینتر ۶۰۰℃..... ۶۳
شکل ۴-۳- تغییرات چگالی با افزایش درصد وزنی ذرات رس با دمای زینتر ۶۵۰℃..... ۶۴
شکل ۴-۴- تغییرات چگالی با افزایش درصد وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با دمای زینتر۶۵۰℃..... ۶۵
شکل ۴-۵- افزایش چگالی با افزایش دمای زینتر در کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات رس ۶۶
شکل ۴-۶- افزایش چگالی با افزایش دمای زینتر در کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات کاربید سیلیسیم..... ۶۶
شکل ۴-۷- مقایسهٔ چگالی کامپوزیت حاوی درصدهای وزنی متفاوت از ذرات مختلف ۶۷

شکل ۴-۸- تغییرات درصد تخلخل ظاهری بر حسب افزایش درصد وزنی ذرات رس با دمای زینتر ۶۵۰°C ۶۷
شکل ۴-۹- تغییرات درصد تخلخل ظاهری بر حسب افزایش درصد وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با دمای زینتر ۶۵۰°C ۶۸
شکل ۴-۱۰- تغییرات درصد تخلخل ظاهری بر اساس درصد تقویت‌کننده و دمای زینترینگ ۶۸
شکل ۴-۱۱- نمودار نیرو برحسب جابجایی برای کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات رس ۶۹
شکل ۴-۱۲- نمودار نیرو برحسب جابجایی برای کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات کاربید سیلیسیم ۷۰
شکل ۴-۱۳- روند تغییرات استحکام و انعطاف‌پذیری نسبت به نوع تقویت‌کننده..... ۷۱
شکل ۴-۱۴- تغییرات استحکام خمشی بر حسب درصد وزنی ذرات ۷۱
شکل ۴-۱۵- تغییرات مدول الاستیسیته با تغییر درصد وزنی فاز تقویت‌کننده برای نمونه‌های مختلف ۷۳
شکل ۴-۱۶- روند تغییرات چقرمگی شکست با افزایش درصد وزنی ذرات، زینتر شده در دمای ۶۰۰°C ۷۵
شکل ۴-۱۷- روند تغییرات چقرمگی شکست با افزایش درصد وزنی ذرات، زینتر شده در دمای ۶۵۰°C ۷۶
شکل ۴-۱۸- تغییرات میکرو سختی ویکرز کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات رس ۷۸
شکل ۴-۱۹- تغییرات میکرو سختی ویکرز کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات کاربید سیلیسیم ۷۸
شکل ۴-۲۰- مقایسهٔ نتایج آزمون سختی بر حسب نوع تقویت‌کننده ۷۹
شکل ۴-۲۱- تصویر میکروسکوپی سطح شکست نمونهٔ آلومینیوم بدون ذرات تقویت‌کننده با بزرگنمایی ۶۰۰ برابر ۸۲
شکل ۴-۲۲- تصویر میکروسکوپی سطح شکست نمونهٔ آلومینیوم حاوی ۱٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۱۹۰ برابر ۸۲
شکل ۴-۲۳- تصویر میکروسکوپی سطح شکست نمونهٔ آلومینیوم حاوی ۱٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۲۵۰ برابر ۸۳
شکل ۴-۲۴- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۲٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۶۰۰ برابر ۸۴
شکل ۴-۲۵- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۲٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۶۰۰ برابر ۸۴
شکل ۴-۲۶- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۵٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۶۰ برابر ۸۵
شکل ۴-۲۷- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۵٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر ۸۶
شکل ۴-۲۸- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۵٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۴۰۰ و ۶۰۰ برابر ۸۶
شکل ۴-۲۹- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۵٪ وزنی ذرات رس در بزرگنمایی ۷۰۰ برابر ۸۷

شکل ۴-۳۰- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۱۰٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۶۰۰ برابر ۸۷
شکل ۴-۳۱- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۱۰٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۱۴۰۰ برابر ۸۸
شکل ۴-۳۲- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۱۵٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر ۸۸
شکل ۴-۳۳- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۰/۵٪ وزنی ذرات رس با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر ۸۹
شکل ۴-۳۴- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۱٪وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با بزرگنمایی ۶۰۰ برابر ۸۹
شکل ۴-۳۵- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۵٪ وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با بزرگنمایی ۳۳ برابر ۹۰
شکل ۴-۳۶- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۵٪ وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر ۹۰
شکل ۴-۳۷- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۵٪ وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با بزرگنمایی ۳۵۰ برابر ۹۰
شکل ۴-۳۸- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۱۰٪ وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با بزرگنمایی ۶۰۰ برابر ۹۱
شکل ۴-۳۹- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۱۵٪ وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با بزرگنمایی ۶۰۰ برابر ۹۱
شکل ۴-۴۰- سطح شکست نمونهٔ حاوی ۱۵٪ وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر ۹۲
شکل ۴-۴۱- تصویر میکروسکوپ نوری از سطح نمونه بدون ذرات تقویت‌کننده با بزرگنمایی ۶۰۰ برابر ۹۲
شکل ۴-۴۲- تصویر میکروسکوپ نوری از سطح مقطع نمونه حاوی ۱۵٪ وزنی تقویت‌کننده در بزرگنمایی ۶۰۰ برابر ۹۳
شکل ۴-۴۳- تصویر SEM از سطح مقطع غیر شکست نمونهٔ حاوی ۱۵٪ وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر ۹۳
شکل ۴-۴۴- تصویر SEM از سطح غیر شکست نمونهٔ حاوی ۱۵٪ وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با بزرگنمایی ۱۳۰۰ برابر ۹۴
شکل ۴-۴۵- آنالیز اشعه X قسمتی که با کادر آبی رنگ (شکل ۴-۴۴) مشخص شده است ۹۴
شکل ۴-۴۶- آنالیز اشعه X قسمتی که با کادر قرمز رنگ (شکل ۴-۴۴) مشخص شده است ۹۵
شکل ۴-۴۷- تصویر SEM از سطح غیر شکست نمونهٔ حاوی ۱۵٪ وزنی ذرات کاربید سیلیسیم با بزرگنمایی ۱۱۰۰ برابر ۹۵
شکل ۴-۴۸- آنالیز اشعه X قسمتی که با هاشور آبی رنگ (شکل ۴-۴۷) مشخص شده است ۹۶

شکل ۴-۴۹- مشاهدهٔ ترک در نمونهٔ حاوی ۱۵٪ وزنی ذرات با بزرگنمایی ۶۵ برابر ۹۶
شکل ۴-۵۰- تصویر SEM از سطح غیر شکست نمونهٔ بدون ذرات تقویت‌کننده با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر ۹۷
شکل ۴-۵۱- آنالیز اشعه X نقطه‌ای از نمونهٔ حاوی آلومینیوم بدون ذرات تقویت‌کننده (شکل۴-۵۰) مشخص شده است ۹۷

فصل اول

مقدمه

مواد جامد مهندسی به ۳ دستهٔ فلزات، سرامیک‌ها و پلیمرها تقسیم‌بندی می‌شوند. این طرح عمدتاً بر اساس ترکیب شیمیایی و ساختار اتمی، بسیاری از مواد را در یکی از دسته‌بندی‌های ذکر شده قرار می‌دهد. علاوه‌براین، کامپوزیت‌ها ترکیبی از دو یا چند ماده (ترکیبی از ۳ دستهٔ فلزات، سرامیک‌ها و یا پلیمرها) می‌باشند[۱و۲]. با وجود پیشرفت‌های فوق‌العاده‌ای که در تولید مواد مهندسی و کامپوزیت‌ها در طول چندین سال گذشته حاصل شده است، هنوز چالش‌های تکنولوژیکی زیادی وجود دارد که می‌توان به تولید و توسعهٔ مواد پیچیده و تخصصی‌تر در مقابل اثرات زیست محیطی اشاره کرد که از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه‌تر باشد. از جملهٔ این موارد می‌توان به سیستم حمل و نقل اشاره کرد. در این سیستم، نیاز بر این است که با کاهش وزن وسائط حمل و نقل، انرژی مصرف شده توسط آن‌ها کاهش یابد و همچنین با افزایش دمای عملیاتی موتور، بازدهٔ سوخت را بالا برد. بنابراین باید موادی با استحکام تسلیم[۱] بالا و چگالی کم که دارای مقاومت زیاد در برابر حرارت باشند، برای استفاده در اجزای موتور طراحی گردند[۲]. مواد کامپوزیت زمینهٔ فلزی در بسیاری از زمینه‌ها و در زندگی روزمره کاربرد دارند. در دهه‌های اخیر و با پیشرفت صنعت، توسعهٔ قابل ملاحظه‌ای در تولید کامپوزیت‌های زمینهٔ فلزی (MMC)[۲] کسب شده است[۳].

آلومینیوم یکی از مواد مهندسی است که اهمیت ویژه‌ای در صنایع مختلف دارد[۴]. در حال حاضر استفاده از آلیاژهای آلومینیوم به علت چگالی کم، هدایت حرارتی بالا، استحکام تسلیم خوب، وزن کم و همچنین از نظر اقتصادی بسیار رواج دارد. با این حال سختی[۳] کم و مقاومت به سایش[۴] پایین آن‌ها مانع بسیار بزرگی برای کاربردهای اصطکاکی و همچنین برای کاربردهایی که به خواص مکانیکی بالایی نیاز دارند، می‌باشد[۵]. برای از بین بردن این مشکل از فازهای سخت به‌عنوان تقویت‌کننده[۵] استفاده می‌شود[۶]. کامپوزیت‌های زمینه آلومینیوم تقویت شده با ذرات، خواص

---

[۱] Yield Strength
[۲] Metal Matrix Composite
[۳] Hardness
[۴] Wear Resistence
[۵] Reinforcement

مناسبی مانند چگالی پایین، استحکام تسلیم و مدول یانگ[۱] بالا، ضریب انبساط حرارتی[۲] پایین و مقاومت به سایشی خوبی را فراهم می‌کنند[۷و۸]. این نوع کامپوزیت‌ها به صورت موفقیت آمیزی به هر دو روش ریخته‌گری[۳] و متالورژی پودر[۴] ساخته می‌شوند[۵]. برخی مطالعات بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های تولید شده با روش ریخته‌گری صورت گرفته است. ولی مطالعات کمی بر روی کامپوزیت‌های تولید شده با روش متالورژی پودر انجام شده است.

هدف از این تحقیق، مطالعهٔ خواص فیزیکی، مکانیکی و ریزساختاری کامپوزیت‌های زمینه آلومینیوم تقویت شده با ذرات سرامیکی (کاربید سیلیسیم[۵] و رس[۶])، تولید شده با روش متالورژی پودر و در دو دمای زینترینگ[۷] ۶۰۰°C و ۶۵۰°C می‌باشد. آزمون‌های انجام شده در این پژوهش به سه دستهٔ فیزیکی، مکانیکی و ریزساختاری تقسیم می‌شوند. آزمون فیزیکی شامل آزمون تعیین چگالی[۸] به روش ارشمیدس[۹]، آزمون‌های مکانیکی شامل میکروسختی به روش ویکرز و تعیین استحکام خمشی[۱۰] (آزمون سه نقطه‌ای) می‌باشند. برای مطالعهٔ ریزساختار، ابتدا آنالیز عنصری پودرهای مواد اولیه برای اطمینان از صحت مشخصات درخواست شده، انجام شد. سطوح شکست نمونه‌ها پس از انجام آزمون خمشی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی[۱۱] مورد مطالعه قرار گرفت. سطوح دو نمونه (آلومینیوم، بدون ذرات تقویت کننده و آلومینیوم همراه با ۱۵٪ وزنی ذرات کاربید سیلیسیم) پس از انجام عملیات متالوگرافی، برای بررسی دانه‌بندی و ریزساختاری، توسط میکروسکوپ‌های نوری[۱۲] و الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفتند. در پایان کامپوزیت با مقدار بهینه از درصد وزنی ذرات و دمای زینترینگ مناسب انتخاب شد.

این پایان‌نامه شامل پنج فصل است که فصل اول به مقدمه اختصاص داده شده است. در فصل دوم ضمن مرور تئوری‌ها، تعاریف و مبانی کامپوزیت‌ها، به طبقه‌بندی آن‌ها پرداخته شده است. سپس برخی خواص کامپوزیت‌های زمینه آلومینیوم تقویت شده با ذرات که توسط دیگران مورد بررسی قرار گرفته است، ذکر خواهد شد. در فصل سوم به روش انجام تحقیق و جزئیات آزمایش‌های مختلف پرداخته شده است. در فصل چهارم نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی، مکانیکی و ریزساختاری انجام شده، بیان خواهد شد و نتایج آن‌ها مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. در نهایت در فصل پنجم نتیجه گیری و ارائه پیشنهادهایی برای مطالعات بعدی بیان شده است.

---

۱ Young's Modulus
۲ Thermal Expansion Coefficient
۳ Casting
۴ Powder Metallurgy
۵ SiC
۶ Clay
۷ Sintering
۸ Density
۹ Archimedes
۱۰ Bending Test
۱۱ Scanning Electron Microscopy
۱۲ Optical Microscopy

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱- کامپوزیت:

کامپوزیت‌ها موادی هستند که از ترکیب دو یا چند ماده متمایز (غیر محلول در یکدیگر) در مقیاس ماکروسکوپی به دست می‌آیند و فصل مشترک بین اجزا به صورتی است که مواد نسبت به هم قابل تشخیص باشند[۶و۸]. این دو یا چند ماده باید از لحاظ فیزیکی و شیمیایی قابل تشخیص باشند ولی نباید با هم واکنش شیمیایی برقرار کنند[۹]. می‌توان تعریف خاص‌تری برای کامپوزیت در نظر گرفت و آن اینکه کامپوزیت را ترکیبی از یک تقویت‌کننده با استحکام (تسلیم) و سفتی[۱] بالا با زمینه‌ای با کارایی مفید دانست. می‌توان کامپوزیت‌ها را به علت ترکیب دو یا چند ماده، جزء مواد ناهمگن[۲] برشمرد[۷و۸]. کامپوزیت‌ها نه تنها به خاطر خواص ساختاری آن‌ها، بلکه برای کاربردهای الکتریکی، حرارتی، تریبولوژیکی[۳] و زیست محیطی استفاده می‌شوند. همچنین از لحاظ استحکام تسلیم و سفتی بالا، چگالی کم، عمر خستگی[۴] مناسب و تولید اشکال پیچیده، آن‌ها را مفید و کارآمد معرفی کرده است[۶]. به طور مثال کامپوزیت زمینهٔ فلزی از یک فلز خالص و یا آلیاژی از آن به عنوان زمینه و یک تقویت‌کننده (سرامیکی، فلزی و یا پلیمری) تشکیل شده است که کارایی و خواص آن‌ها بالاتر از فلزات خالص از جمله آلومینیوم، تیتانیوم و یا حتی فولاد می‌باشد. فلزات در حالت خالص و آلیاژهای آن‌ها نمی‌توانند پاسخگوی تکنولوژی در حال پیشرفت باشند ولی با ترکیب چند ماده عملکرد مورد نیاز تامین می‌شود[۸].

---

۱ Stiffness
۲ Heterogeneous
۳ Tribological
۴ Fatigue