

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولُوا الْأَلْبَابِ. (سوره زمر آیه ۹)

بگو: «آیا کسانی که می دانند با کسانی که نمی دانند یکسانند؟ تنها خردمندان متذکر می شوند.»

بسمه تعالی



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
دانشکده مهندسی مواد

بررسی خواص کامپوزیت زمینه آلومینیمی تقویت شده با ذرات

سرامیکی، تولید شده به روش ریخته گری نیمه جامد

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته

مهندسی مواد گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

نام و نام خانوادگی دانشجو:

اسماعیل دماوندی

استاد راهنما:

دکتر سلمان نوروزی

استاد مشاور:

دکتر سید محمود ربیعی

بهمن ۱۳۹۳

تقدیم

تقدیم به محضر امام عصر (عج)؛

که عنایتش همچون بارانی بر سر تمامی انسان‌ها می‌بارد.

تقدیم به مادر عزیزم؛

که سنگ صبور لحظه‌های تنهایی ام بود و رهنمودهای مادرانه‌اش نوید

موفقیت‌های آینده را می‌داد.

تقدیم به پدر فداکارم؛

که با از خود گذشتگی، زندگی اصیل را به من آموخت. داشته‌های خود

را فدای نداشته‌هایم کرد تا با آرامشی مطلق، پله‌های ترقی را یک به یک طی نمایم.

تقدیم به همسر عزیزتر از جانم؛

که پای تمام نبودن‌هایم ماند تا به واژه بودن برسیم. مرا با تمام شب

بیداری‌ها و سختی‌هایش تحمل نمود تا درخت امید در دلم نخشکد.

و تقدیم به تمام کسانی که مرا در این راه یاری نمودند.

شنیدم که علم، کوهری دلربا است
ز دنیای فانی زر، بس جدا است
به سان دو بال بزرگ و سپید
از اندیشه‌ی نامبارک رها است
درختی که بارش پر از دانش است
فروتن شود، غیر این هم خطا است
سری سربه‌زیر و دلی سربلند
ره عالم نیک و بی‌ادعا است
چه زیبا شود رنگ علم با عمل
که زیباترین نقش و طرح خدا است
تو با ارزشی علم! نزد کسان
تو پایی، اگر غیر این شد بها است
خدایا اساتید ما عالم اند
اگر ادعاشان همی بی‌ریا است
کجک کن شوند عاقبت رو سفید
عنايات توناب و بی‌اتهام است
دماوندی ار لایق زندگی است
ز لطف و کرم‌های رب سما است
به پایان نامه همی دنجوشم
که دارم خدایی که خود تکیه‌گاه است

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر، حاصل تلاش مداوم اینجانب بوده است که جز با عنایت پروردگار مهربان به ثمر نمی نشست. جا دارد از زحمات اساتید محترم جناب آقای دکتر سلمان نوروزی و جناب آقای دکتر سید محمود ربیعی که حضور در محضر این دو عزیز مایه مباهات و افتخار اینجانب است، تشکر و قدردانی نمایم. باشد که این اثر، ذره‌ای از خوبی‌هایشان را جبران کند.

از جناب آقای پروفسور مسعود امامی، جناب آقای دکتر مجید عباسی، جناب آقای دکتر حامد جمشیدی، جناب آقای دکتر سید جمال حسینی‌پور، جناب آقای دکتر محمد رجبی، جناب آقای دکتر حمید باصری و جناب آقای مهندس سید جعفر مهدی‌زاده بابت رهنمون‌هایشان تقدیر و تشکر می‌نمایم.

از همکاری و مساعدت کارکنان محترم آزمایشگاه عملیات حرارتی، کارگاه ریخته‌گری، جوشکاری، ماشینکاری و آزمایشگاه فیزیک و شیمی؛ مهندس سید کمال سید مجیدی، مهندس طاهرنژاد، آقای گلی، مهندس علی‌نژاد، مهندس صادقی، آقای میثم محمدیان، آقای پرویز علیزاده، آقای شعبان نیارمی و خانم نازک-تبار صمیمانه سپاسگزارم.

در نهایت از کمک‌های بی‌دریغ دوستان خوبم؛ مهندسان میثاق عزیزان، امین کلاهدوز، مجتبی جواهری، روزبه عشقیان، سید محسن محمودی، حسین محمدی، علی ابوکاظم‌پور، محمد طریک، مصطفی شیردل، محسن رضوانی، زهیر دباغیان و سایر عزیزانی که مرا در این پژوهش یاری نمودند، کمال تشکر و سپاس را دارم.

چکیده

با اطمینان می‌توان گفت که توسعه مواد، دلیل عمده پیشرفت تکنولوژی و صنعت در کل تاریخ بوده است. در دهه‌های اخیر تکامل قابل توجهی در تکنولوژی تولید و بکارگیری کامپوزیت‌ها حاصل شده است. ریخته‌گری با همزن مکانیکی یکی از روش‌های تولید در حالت نیمه‌جامد است که با استفاده از این فرآیند می‌توان کامپوزیتی با زمینه فلزی از طریق افزودن ذرات به داخل مذاب در حین انجماد تولید کرد. توزیع مناسب و یکنواخت ذرات در داخل مذاب توسط همزدن با یک پره مناسب و کنترل دیگر پارامترهای این فرایند از جمله نحوه تزریق ذرات به داخل مذاب امکان‌پذیر است.

در تحقیق حاضر، آلیاژ ریختگی همزنی A356 به‌عنوان زمینه و ذرات Al_2O_3 به‌عنوان تقویت‌کننده کامپوزیت مورد استفاده قرار گرفت. تاثیر عواملی نظیر نحوه تزریق پودر (دستی یا گاز خنثی)، دبی گاز خنثی، عملیات حرارتی ذرات قبل از تزریق و استفاده از ذرات کمکی بر ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت مورد بررسی قرار گرفت. به منظور کاهش زمان ریخته‌گری و همچنین اثرات منفی دمای کاری بالا، پس از رسیدن به دمای $680^\circ C$ درجه سانتی‌گراد، کاهش دما به همراه تزریق ذرات و همزدن تا دمای دو فازی $610^\circ C$ درجه سانتی‌گراد صورت پذیرفت. تولید کامپوزیت سالم منوط به توزیع یکنواخت و ترشوندگی مناسب ذرات با زمینه آلومینیمی است. نتایج نشان داد که عواملی چون استفاده از گاز خنثی با دبی ۵ لیتر بر دقیقه جهت تزریق ذرات، عملیات حرارتی ذرات آلومینا قبل از تزریق، استفاده از عناصر کمکی چون آلومینیم و مس، موجب کاهش تخلخل، افزایش ترشوندگی و توزیع یکنواخت ذرات در زمینه کامپوزیت شده است. نتایج آزمون‌های مکانیکی نشان داد که کامپوزیت تقویت‌شده با ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده بهترین تاثیرگذاری را در بهبود خواص مکانیکی نسبت به سایر نمونه‌ها داشت بطوری‌که در این حالت مقادیر استحکام فشاری، سختی، انرژی شکست، ضریب اصطکاک و نرخ سایش به ترتیب $539/1$ MPa BHN، $78/7$ ، $8/2$ ، $0/42$ و $0/007$ mgr/m به دست آمد.

کلمات کلیدی: کامپوزیت تقویت‌شده با آلومینا، آسیاکاری، دبی تزریق، عملیات حرارتی، نیمه‌جامد، خواص مکانیکی

فهرست مطالب

	مقدمه
۱	مروری بر منابع
۳	۱-۲- بیان کلیات
۳	۱-۱-۲- مقدمه
۳	۲-۱-۲- تعریف کامپوزیت
۴	۳-۱-۲- مزایا و معایب کامپوزیت
۴	۴-۱-۲- تقسیم بندی کامپوزیت ها
۵	۵-۱-۲- کامپوزیت های زمینه فلزی
۶	۶-۱-۲- فاز تقویت کننده در کامپوزیت های زمینه فلزی
۶	۷-۱-۲- ذرات
۶	۸-۱-۲- کامپوزیت های زمینه آلومینیمی
۷	۹-۱-۲- کامپوزیت های آلومینیم تقویت شده با فاز تقویت کننده ناپیوسته
۸	۲-۲- روش های ساخت کامپوزیت های زمینه فلزی
۸	۱-۲-۲- ریخته گری همزنی
۹	۲-۲-۲- ریخته گری نیمه جامد
۱۰	۳-۲- فصل مشترک بین فازها
۱۱	۱-۳-۲- ترشوندگی فاز دوم توسط زمینه
۱۲	۲-۳-۲- زاویه ترشوندگی
۱۴	۴-۲- ریزساختار کامپوزیت زمینه آلومینیمی تقویت شده با ذرات تقویت کننده
۱۶	۱-۴-۲- اصلاح فاز دوم زمینه
۱۸	۲-۴-۲- تخلخل و لایه های گازی
۲۰	۵-۲- عملیات حرارتی ذرات تقویت کننده
۲۲	۶-۲- آسیاب مکانیکی
۲۳	۷-۲- خواص مکانیکی
۲۴	۸-۲- مروری اجمالی بر پژوهش های پیشین
۳۰	۹-۲- جمع بندی و هدف از تحقیق حاضر
۳۱	روش تحقیق
۳۱	۱-۳- مقدمات آزمایش
۳۱	۱-۱-۳- آلیاژ زمینه مورد استفاده
۳۲	۲-۱-۳- فاز تقویت کننده
۳۲	۳-۱-۳- ذرات کمکی
۳۲	۴-۱-۳- سیستم همزن مکانیکی و اجزای آن
۳۴	۵-۱-۳- کوره و تجهیزات وابسته به آن
۳۶	۶-۱-۳- سیستم تزریق
۳۷	۷-۱-۳- آسیابکاری مکانیکی
۳۷	۸-۱-۳- عملیات حرارتی ذرات تقویت کننده
۳۷	۲-۳- طراحی آزمایش
۴۰	۱-۲-۳- اثر همزدن
۴۰	۲-۲-۳- اثر ذرات آلومینا در تزریق دستی

۴۰	۳-۲-۳- اثر گاز خنثی در تزریق ذرات آلومینا
۴۱	۴-۲-۳- اثر عملیات حرارتی ذرات آلومینا قبل از تزریق
۴۱	۵-۲-۳- اثر دبی گاز خنثی در تزریق ذرات آلومینا
۴۲	۶-۲-۳- اثر عناصر کمکی
۴۲	۳-۳- دما و زمان
۴۴	۴-۳- آماده سازی نمونه و بررسی ریزساختار
۴۴	۱-۴-۳- اندازه گیری درصد تخلخل
۴۵	۲-۴-۳- بررسی ریزساختار و مورفولوژی سطح
۴۶	۳-۴-۳- بررسی فازی
۴۷	۵-۳- ارزیابی خواص مکانیکی
۴۷	۱-۵-۳- آزمون سختی سنجی
۴۸	۲-۵-۳- آزمون فشار
۴۹	۳-۵-۳- آزمون ضربه
۴۹	۴-۵-۳- آزمون سایش

۵۲

نتایج و بحث

۵۲	۱-۴- مقدمه
۵۲	۲-۴- اثر همزدن دوغاب
۵۲	۱-۲-۴- مشاهدات ریزساختاری
۵۶	۲-۲-۴- تخلخل
۵۷	۳-۲-۴- خواص مکانیکی
۶۰	۳-۴- اثر ذرات آلومینا در تزریق دستی
۶۰	۱-۳-۴- مشاهدات ریزساختاری
۶۲	۲-۳-۴- تخلخل
۶۳	۳-۳-۴- خواص مکانیکی
۶۵	۴-۴- اثر گاز خنثی در تزریق ذرات آلومینا
۶۵	۱-۴-۴- مشاهدات ریزساختاری
۶۷	۲-۴-۴- تخلخل
۶۸	۳-۴-۴- خواص مکانیکی
۷۰	۵-۴- اثر عملیات حرارتی ذرات آلومینا قبل از تزریق
۷۱	۱-۵-۴- مشاهدات ریزساختاری
۷۱	۲-۵-۴- تخلخل
۷۲	۳-۵-۴- خواص مکانیکی
۷۵	۶-۴- اثر دبی گاز خنثی در تزریق ذرات
۷۵	۱-۶-۴- مشاهدات ریزساختاری
۷۹	۲-۶-۴- تخلخل
۸۰	۳-۶-۴- خواص مکانیکی
۸۳	۷-۴- عناصر کمکی
۸۸	۲-۷-۴- مشاهدات ریزساختاری
۹۱	۳-۷-۴- تخلخل
۹۲	۴-۷-۴- خواص مکانیکی
۹۵	۸-۴- مکانیزم سایش

۱۰۰	پیشنهادات برای تحقیقات بیشتر
۱۰۱	مراجع
۱۰۶	پیوست الف
۱۰۸	پیوست ب
۱۱۰	پیوست پ
۱۱۲	پیوست ت
۱۱۴	پیوست ث
۱۱۶	پیوست ج
۱۱۸	پیوست چ
۱۲۰	پیوست ح

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

شکل (۱-۲) انواع مختلف فاز تقویت کننده در کامپوزیت [۲].	۶
شکل (۲-۲) تصویر شماتیک از فرآیند ریخته گری همزنی [۲۳].	۹
شکل (۳-۲) پر کردن الیاف پیش فرم یافته توسط مذاب [۲۷].	۱۱
شکل (۴-۲) تصویر شماتیک از رفتار ذرات در فصل مشترک جامد/ مایع [۲۹]؛ الف) زاویه ترشوندگی کوچک تر از ۹۰ درجه ب) زاویه ترشوندگی بیشتر از ۹۰ درجه.	۱۳
شکل (۵-۲) تصویر شماتیک از فرآیند شکل گیری ریزساختار کامپوزیت زمینه آلومینیمی در اثر ارتعاش [۳۴].	۱۵
شکل (۶-۲) دیاگرام فازی تعادلی آلومینیم- سیلیسیم [۳۸].	۱۶
شکل (۷-۲) دربر گرفته شدن ذرات Al_2O_3 توسط فاز سیلیسیم [۲۹].	۱۷
شکل (۸-۲) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از عدم پیوستگی ذره SiC در زمینه آلومینیمی [۴۲].	۱۹
شکل (۹-۲) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از پیوستگی در فصل مشترک SiC و زمینه آلومینیمی [۴۲].	۱۹
شکل (۱۰-۲) تاثیر دمای عملیات حرارتی بر زاویه ترشوندگی آلومینا و آلومینیم [۴۳].	۲۰
شکل (۱۱-۲) تاثیر زمان عملیات حرارتی بر زاویه ترشوندگی آلومینا و آلومینیم [۴۳].	۲۰
شکل (۱۲-۲) تصویر شماتیک از خروج مرز دانه از شیار خود بعد از عملیات حرارتی [۴۴].	۲۱
شکل (۱۳-۲) تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی سطح ذرات آلومینا [۴۴] الف) قبل و ب-د) بعد از عملیات حرارتی.	۲۱
شکل (۱۴-۲) مکانیزم آسیاب ذرات ترد و نرم [۴۵].	۲۳
شکل (۱-۳) نمودار تغییرات دما بر حسب زمان آلیاژ مورد استفاده [۵۷].	۳۱
شکل (۲-۳) سیستم همزن مکانیکی مورد استفاده در این پژوهش.	۳۲
شکل (۳-۳) دستگاه دیجیتالی مشخص کننده دور شفت.	۳۳
شکل (۴-۳) پره همزن از جنس فولاد ساده کربنی.	۳۳
شکل (۵-۳) پره همزن اصلاح شده از جنس فولاد زنگ نزن.	۳۴
شکل (۶-۳) کوره الکتریکی با توان ۳ kw.	۳۴
شکل (۷-۳) سیستم کنترل دما.	۳۵
شکل (۸-۳) بوته مورد استفاده به همراه نگهدارنده.	۳۶
شکل (۹-۳) تصویر شماتیک از سیستم تزریق مورد استفاده در این پژوهش.	۳۶
شکل (۱۰-۳) تصویر دستگاه آسیاب گلوله‌های استفاده شده جهت آسیاب پودرها.	۳۷
شکل (۱۱-۳) مراحل مختلف پژوهش.	۳۸
شکل (۱۲-۳) میکروسکوپ استریو.	۴۵
شکل (۱۳-۳) تصویر میکروسکوپ الکترونی مدل TESCAN-LMU.	۴۶
شکل (۱۴-۳) تصویر دستگاه XRD مورد استفاده در این تحقیق.	۴۶
شکل (۱۵-۳) تصویر شماتیک از تهیه نمونه های خواص مکانیکی از شمش های تولیدی.	۴۷
شکل (۱۶-۳) دستگاه سختی سنجی اونیورسال.	۴۸
شکل (۱۷-۳) الف) نمونه آزمون فشار و ب) دستگاه آزمون فشار مورد استفاده در این آزمایش.	۴۸
شکل (۱۸-۳) الف) دستگاه آزمون ضربه و ب) نمونه آزمون ضربه.	۴۹
شکل (۱۹-۳) دستگاه سایش پین روی دیسک.	۵۰
شکل (۲۰-۳) الف) دیسک فولادی و ب) نمونه آزمون سایش.	۵۱
شکل (۱-۴) ریزساختار آلیاژ A356 در فرآیند ریخته گری ثقلی با بزرگنمایی ۱۰۰ برابر.	۵۳
شکل (۲-۴) ریزساختار آلیاژ A356 در فرآیند ریخته گری ثقلی با بزرگنمایی الف) ۲۰۰ برابر و ب) ۴۰۰ برابر.	۵۴
شکل (۳-۴) ریزساختار آلیاژ A356 حاصل از ریخته گری نیمه جامد.	۵۵

- شکل (۴-۴) ریزساختار آلیاژ A356 حاصل از ریخته‌گری نیمه جامد با بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. ۵۶
- شکل (۵-۴) نمودار تنش-کرنش حاصل از آزمون فشار نمونه‌های حاصل از ریخته‌گری ثقلی و ریخته‌گری نیمه جامد. ۵۸
- شکل (۶-۴) نمودار مقدار کاهش وزن نمونه‌های حاصل از ریخته‌گری ثقلی و نیمه جامد بر حسب مسافت طی شده. ۵۹
- شکل (۷-۴) تصویر میکروسکوپی نوری ریزساختار نمونه کامپوزیتی با تزریق دستی ذرات. ۶۱
- شکل (۸-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ریزساختار نمونه کامپوزیتی با تزریق دستی ذرات. ۶۱
- شکل (۹-۴) آنالیز عنصری EDS از قسمت ۱ موجود در تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی. ۶۲
- شکل (۱۰-۴) آنالیز عنصری EDS از قسمت ۲ موجود در تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی. ۶۲
- شکل (۱۱-۴) نمودار تنش-کرنش حاصل از آزمون فشار نمونه حاصل از ریخته‌گری نیمه جامد و نمونه کامپوزیتی با تزریق دستی ذرات. ۶۴
- شکل (۱۲-۴) نمودار مقدار کاهش وزن نمونه حاصل از ریخته‌گری نیمه جامد و نمونه کامپوزیتی تزریقی به صورت دستی بر حسب مسافت طی شده. ۶۵
- شکل (۱۳-۴) تصویر میکروسکوپی نوری ریزساختار نمونه کامپوزیت بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی. ۶۶
- شکل (۱۴-۴) تصویر میکروسکوپی نوری ریزساختار نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی. ۶۷
- شکل (۱۵-۴) نمودار تنش-کرنش حاصل از آزمون فشار نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا تزریقی به صورت دستی و نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی. ۶۹
- شکل (۱۶-۴) نمودار مقدار کاهش وزن نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا تزریقی به صورت دستی و نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی بر حسب مسافت طی شده. ۷۰
- شکل (۱۷-۴) تصویر میکروسکوپی نوری ریزساختار نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا عملیات حرارتی شده. ۷۱
- شکل (۱۸-۴) نمودار تنش-کرنش حاصل از آزمون فشار نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی و نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا عملیات حرارتی شده. ۷۴
- شکل (۱۹-۴) نمودار میزان کاهش وزن نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی و نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا عملیات حرارتی شده بر حسب مسافت طی شده. ۷۴
- شکل (۲۰-۴) تصویر میکروسکوپی نوری ریزساختار نمونه کامپوزیتی با دبی گاز خنثی ۲/۵ لیتر بر دقیقه. ۷۵
- شکل (۲۱-۴) تصویر میکروسکوپ استریو از سطح نمونه کامپوزیتی با دبی گاز خنثی ۲/۵ لیتر بر دقیقه. ۷۶
- شکل (۲۲-۴) تصویر میکروسکوپی نوری ریزساختار نمونه کامپوزیتی با دبی گاز ۲/۵ لیتر بر دقیقه با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. ۷۷
- شکل (۲۳-۴) تصویر میکروسکوپی نوری ریزساختار نمونه کامپوزیتی با دبی گاز ۲/۵ لیتر بر دقیقه با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر. ۷۷
- شکل (۲۴-۴) تصویر میکروسکوپی نوری ریزساختار نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی گاز خنثی ۵ لیتر بر دقیقه. ۷۸
- شکل (۲۵-۴) تصویر میکروسکوپی نوری با نور پلاریزه ریزساختار نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی گاز خنثی ۵ لیتر بر دقیقه با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر. ۷۸
- شکل (۲۶-۴) تصویر میکروسکوپی نوری ریزساختار نمونه کامپوزیتی با دبی گاز خنثی ۱۰ لیتر بر دقیقه. ۷۹
- شکل (۲۷-۴) نمودار تنش-کرنش حاصل از آزمون فشار نمونه‌های کامپوزیتی تقویت‌شده با ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی مختلف گاز خنثی ۲/۵، ۵ و ۱۰ لیتر بر دقیقه. ۸۲
- شکل (۲۸-۴) نمودار مقدار کاهش وزن نمونه‌های کامپوزیتی با ذرات تقویت‌کننده آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی مختلف گاز خنثی ۲/۵، ۵ و ۱۰ لیتر بر دقیقه بر حسب مسافت طی شده. ۸۳
- شکل (۲۹-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ذرات آلومینیم. ۸۴
- شکل (۳۰-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ذرات مس. ۸۴
- شکل (۳۱-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ذرات آلومینا. ۸۴
- شکل (۳۲-۴) الگوی پراش اشعه ایکس از ذرات آلومینا. ۸۵
- شکل (۳۳-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده. ۸۶
- شکل (۳۴-۴) الگوی پراش اشعه ایکس از ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده. ۸۶
- شکل (۳۵-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ذرات آلومینا/مس آسیاب شده. ۸۷

- شکل (۳۶-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ذرات آلومینا/مس آسیاب شده با بزرگنمایی بالاتر. ۸۷
- شکل (۳۷-۴) الگوی پراش اشعه ایکس از ذرات آلومینا/مس آسیاب شده. ۸۷
- شکل (۳۸-۴) تصویر میکروسکوپی نوری ریزساختار نمونه کامپوزیتی با ذرات آسیاب شده آلومینا/مس. ۸۸
- شکل (۳۹-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ریزساختار نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی گاز خنثی ۵ لیتر بر دقیقه. ۸۹
- شکل (۴۰-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ریزساختار نمونه کامپوزیتی با ذرات آسیاب شده آلومینا/مس. ۹۰
- شکل (۴۱-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ریزساختار نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی گاز خنثی ۵ لیتر بر دقیقه با بزرگنمایی بالاتر. ۹۰
- شکل (۴۲-۴) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ریزساختار نمونه کامپوزیتی با ذرات آسیاب شده آلومینا/مس با بزرگنمایی بالاتر. ۹۱
- شکل (۴۳-۴) نمودار تنش- کرنش حاصل از آزمون فشار نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی گاز خنثی ۵ لیتر بر دقیقه و نمونه کامپوزیتی با ذرات آسیاب شده آلومینا/مس. ۹۴
- شکل (۴۴-۴) نمودار مقدار کاهش وزن نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی گاز خنثی ۵ لیتر بر دقیقه و نمونه کامپوزیتی با ذرات آسیاب شده آلومینا/مس بر حسب مسافت طی شده. ۹۵
- شکل (۴۵-۴) نمودار ضریب اصطکاک نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی بر حسب مسافت طی شده. ۹۶
- شکل (۴۶-۴) تصویر میکروسکوپ استریو از سطوح سایشی نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی پس از طی مسافت های الف (۱۵۰ متر، ب) ۳۰۰ متر، ج) ۹۰۰ و د) ۱۵۰۰ متر. ۹۷

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۲) مروری اجمالی بر تحقیقات انجام گرفته.....	۲۸
جدول (۱-۳) ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم A356 (درصد وزنی).....	۳۲
جدول (۲-۳) مروری بر طراحی آزمایش.....	۳۹
جدول (۳-۳) ترکیب شیمیایی محلول‌های حکاکی مورد استفاده در این آزمایش.....	۴۴
جدول (۱-۴) درصد تخلخل نمونه‌های حاصل از ریخته‌گری ثقیلی و ریخته‌گری نیمه جامد.....	۵۷
جدول (۲-۴) خواص مکانیکی نمونه‌های حاصل از ریخته‌گری ثقیلی و ریخته‌گری نیمه جامد.....	۵۷
جدول (۳-۴) درصد تخلخل نمونه حاصل از ریخته‌گری نیمه جامد و نمونه کامپوزیتی با تزریق دستی ذرات.....	۶۳
جدول (۴-۴) خواص مکانیکی نمونه حاصل از ریخته‌گری نیمه جامد و نمونه کامپوزیتی با تزریق دستی ذرات.....	۶۳
جدول (۵-۴) درصد تخلخل نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا تزریقی به صورت دستی و نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی.....	۶۸
جدول (۶-۴) خواص مکانیکی نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا تزریقی به صورت دستی و نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی.....	۶۸
جدول (۷-۴) درصد تخلخل نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی و نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا عملیات حرارتی شده.....	۷۲
جدول (۸-۴) خواص مکانیکی نمونه کامپوزیتی بدون پیش عملیات تزریقی با گاز خنثی و نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا عملیات حرارتی شده.....	۷۳
جدول (۹-۴) درصد تخلخل نمونه‌های کامپوزیتی با ذرات تقویت کننده آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی مختلف گاز خنثی ۲/۵، ۵ و ۱۰ لیتر بر دقیقه.....	۸۰
جدول (۱۰-۴) خواص مکانیکی نمونه‌های کامپوزیتی با ذرات تقویت کننده آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی مختلف گاز خنثی ۲/۵، ۵ و ۱۰ لیتر بر دقیقه.....	۸۱
جدول (۱۱-۴) درصد تخلخل نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی گاز خنثی ۵ لیتر بر دقیقه و نمونه کامپوزیتی با ذرات آسیاب شده آلومینا/مس.....	۹۲
جدول (۱۲-۴) خواص مکانیکی نمونه کامپوزیتی با ذرات آلومینا/آلومینیم آسیاب شده با دبی گاز خنثی ۵ لیتر بر دقیقه و نمونه کامپوزیتی با ذرات آسیاب شده آلومینا/مس.....	۹۲

فصل ۱ - مقدمه

توسعه علم و فناوری در دهه‌های اخیر به پیدایش گروه جدیدی از مواد مرکب بر پایه آلیاژهای فلزی تقویت‌شده با الیاف یا ذرات سرامیکی منجر شد که قادر به جایگزینی با بسیاری از مواد سنتی می‌باشند. امروزه توانایی استفاده از کامپوزیت‌ها یک هنر محسوب می‌شود، زیرا در بسیاری از موارد، مشکلاتی در کاربردهای فلزات سنتی و آلیاژهای پیشرفته وجود دارد که از طریق انتخاب یک ترکیب مناسب از این مواد و انتخاب فرآیندهای مطلوب، حل شدنی به نظر می‌رسد. ورود کامپوزیت در صنایع مختلف و بخصوص صنعت هوا-فضا به دلیل رفع نیازهای منحصر به فردی است که وجود دارد و به جرات می‌توان گفت که موفقیت کامل و ادامه پیشرفت این صنایع در گرو پیشرفت و تکامل کامپوزیت‌ها و تکنیک‌های مربوط به ساخت آن‌ها است.

کامپوزیت‌های زمینه آلومینیمی تقویت‌شده با میکرو و نانو ذرات آلومینا جزء گروهی از مواد پیشرفته هستند که به‌طور گسترده در کاربردهای با عملکرد بالا همچون صنایع خودروسازی، نظامی، هوا-فضا و صنایع الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این کامپوزیت‌ها به دلیل داشتن خواص فیزیکی و مکانیکی بهبود یافته مانند نسبت استحکام به وزن بالا، انعطاف‌پذیری خوب، استحکام و مدول بالا، ضریب انبساط حرارتی پایین، مقاومت سایشی و مقاومت به خوردگی عالی، مقاومت خزشی بالا و مقاومت به خستگی خوب بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

روش‌های تولید کامپوزیت‌ها را می‌توان به دو بخش اصلی تقسیم کرد؛ روش‌های حالت جامد که شامل فرآیندهای متالورژی پودر، آلیاژسازی مکانیکی و مواردی از این دست می‌شوند و دسته دوم روش‌های حالت مایع که خود به دو بخش حالت مذاب و حالت نیمه‌جامد تقسیم می‌شود. ریخته‌گری هم‌زنی و

روش‌های درجا جزء فرآیندهای حالت مذاب و ریخته‌گری نیمه‌جامد جزء فرآیندهای شکل‌دهی حالت نیمه‌جامد محسوب می‌شود.

تولید کامپوزیت‌ها در حالت مایع دو مشکل اساسی دارد؛ ترشوندگی ضعیف و توزیع غیریکنواخت ذرات سرامیکی در زمینه آلومینیمی. ترشوندگی ضعیف ذرات با مذاب به این معنا است که مذاب زمینه توانایی تر نمودن سطح ذرات آلومینا را ندارد. بنابراین هنگامی که ذرات تقویت‌کننده به مذاب افزوده می‌شوند، روی سطح مذاب شناور می‌گردند. این امر به دلیل کشش سطحی، انرژی بالای فصل مشترک ذرات تقویت‌کننده، حضور فیلم‌های اکسیدی روی سطح مذاب و وجود لایه‌های گازی روی سطح ذرات سرامیکی است. مشکل دیگر، عدم توزیع یکنواخت ذرات تقویت‌کننده در زمینه آلومینیمی است. هنگامی که یک ذره توسط مذاب تر می‌شود به دلیل تفاوت در چگالی تمایل به ته‌نشین شدن در کف بوتله یا شناور شدن روی سطح مذاب دارد. در نتیجه توزیع غیریکنواختی از ذرات حاصل شده و تمایل به تجمع ذرات نیز افزایش می‌یابد.

در فصل دوم معرفی کاملی از کامپوزیت‌ها و انواع آن‌ها، فرآیندها و عوامل موثر بر تولید کامپوزیت‌ها و ... به همراه پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه بیان شده است. در فصل سوم روش انجام پژوهش و آزمون‌های مکانیکی مورد نیاز جهت ارزیابی نتایج قابل مشاهده است. در فصل چهارم نتایج حاصل از بررسی ریزساختاری و آزمون‌های مکانیکی انجام گرفته به‌طور کامل آمده است و در پایان نتیجه‌گیری از این پژوهش و پیشنهادهایی برای ادامه کار ارائه شده است.

فصل ۲- مروری بر منابع

۱-۲- بیان کلیات

۱-۱-۲- مقدمه

شناخت و توسعه مواد جدید با قابلیت های بالا یکی از نیازهای اساسی و از شروط لازم برای پیشرفت تکنولوژی محسوب می شود. در همین راستا مطالعات فراوانی روی گسترش مواد جدید انجام می پذیرد که از جمله آنها می توان به کامپوزیت ها اشاره کرد. این مطالعات به منظور به حداقل رساندن محدودیت ها، سهولت ساخت این گونه مواد و اقتصادی نمودن آنها برای ورود به صنعت در مقیاس وسیع صورت می گیرد. در سال های اخیر کامپوزیت ها به عنوان یکی از زمینه های تحقیقاتی بسیار مناسب و جدید مطرح بوده اند و پیشرفت های بسیاری نیز در مورد ساخت و به کارگیری آنها حاصل شده است.

۲-۱-۲- تعریف کامپوزیت

به طور کلی کامپوزیت به ماده ای گفته می شود که از دو یا چند جزء سازنده تشکیل می شود که اختلاط این اجزا با یکدیگر موجب ایجاد ساختاری می شود که از لحاظ خواص نسبت به هر کدام از اجزا به تنهایی برتری دارد. در بحث مهندسی، کامپوزیت به ماده ای گفته می شود که دارای خصوصیات زیر باشد [۱]:

- سیستم متشکل از مخلوط دو یا چند جزء باشد که از نظر فیزیکی قابل تفکیک باشند.
- اجزای تشکیل دهنده در مقیاس اتمی نباشند.
- ترکیب شیمیایی اجزا متفاوت از یکدیگر باشد.

- اجزای مختلف سیستم قابلیت انحلال در یکدیگر را نداشته باشند.

۲-۱-۳- مزایا و معایب کامپوزیت

از جمله مهمترین مزایای کامپوزیت‌ها استحکام و مدول الاستیک مخصوص بالا، قابلیت کنترل خواص فیزیکی و مکانیکی از طریق کنترل ترکیب شیمیایی و مقاومت به خوردگی بالا می‌باشد. مزایای فوق موجب استفاده وسیع از کامپوزیت‌ها در صنایع مختلف که مهمترین آنها عبارتند از صنایع هوا-فضا، خودروسازی، حمل و نقل و ساختمان شده است [۲].

از مهمترین محدودیت‌های استفاده از مواد کامپوزیتی می‌توان به غیریکنواختی خواص در مورد کامپوزیت‌های حاوی الیاف، مشکلات بازیافت و استفاده مجدد، قیمت بالای مواد تقویت‌کننده و هزینه‌های بالای تولید اشاره کرد [۳].

۲-۱-۴- تقسیم بندی کامپوزیت‌ها

مواد کامپوزیتی را می‌توان با دیدگاه‌های گوناگون تقسیم‌بندی نمود که در مهم‌ترین آن‌ها تقسیم-

بندی بر اساس جنس زمینه است [۴]:

- ۱- کامپوزیت‌های زمینه فلزی^۱
- ۲- کامپوزیت‌های زمینه پلیمری^۲
- ۳- کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی^۳
- ۴- کامپوزیت‌های کربن - کربن^۴
- ۵- کامپوزیت‌های زمینه بین فلزی^۵
- ۶- کامپوزیت‌های هیبریدی^۶

^۱ Metal Matrix Composites (MMCs)

^۲ Polymer Matrix Composites (PMCs)

^۳ Ceramic Matrix Composites (CMCs)

^۴ Carbon-Carbon Composites (CCCs)

^۵ Intermetallic Matrix Composites (IMCs)

^۶ Hybrid Composites (HCs)

۲-۱-۵- کامپوزیت های زمینه فلزی

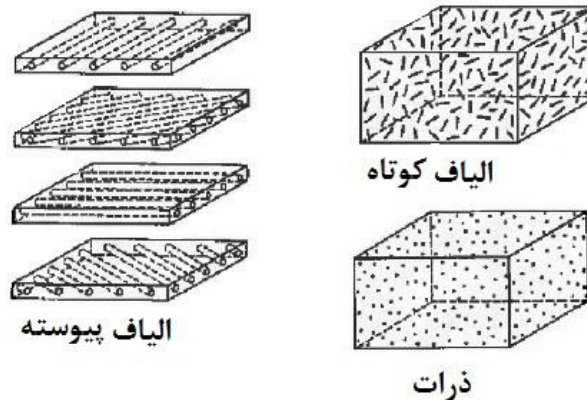
کامپوزیت‌های زمینه فلزی جزء گروهی از مواد مهندسی با کاربردهای حرارتی و ساختاری گسترده می‌باشند که قابلیت استفاده در دماهای بالا را بر خلاف فلز زمینه خود دارا هستند [۵]. این مواد دارای استحکام بالا، مدول الاستیک بالا، سختی، مقاومت سایشی، مقاومت خزشی، عدم جذب رطوبت و پایداری ابعادی می‌باشند [۶]. هدف از طراحی کامپوزیت‌های زمینه فلزی تلفیق ویژگی‌های مطلوب فلز با سرامیک و کاهش نقاط ضعف هر کدام از آنها به‌تنهایی است. اضافه نمودن ذرات سرامیکی با مدول بالا به یک زمینه انعطاف‌پذیر و نرم، ماده‌ای را ایجاد می‌نماید که خواص مکانیکی آن میانگینی از خواص زمینه فلزی و فاز تقویت‌کننده سرامیکی است [۷].

برخلاف کامپوزیت‌های زمینه پلیمری، کامپوزیت‌های زمینه فلزی غیر قابل اشتعال بوده و در حلال تولید گاز نمی‌کنند. علاوه بر این، مایعات آلی نظیر سوخت‌ها و حلال‌ها نیز بر آنها تاثیر چندانی ندارند. در کامپوزیت‌های زمینه فلزی، زمینه نقش مهمی در ایجاد استحکام کامپوزیت نسبت به کامپوزیت‌های زمینه پلیمری دارد. این مسئله به دو دلیل است: اول؛ استحکام بالاتر آلیاژ فلزی نسبت به پلیمر به عنوان زمینه کامپوزیت است و دوم؛ کسر حجمی بالای زمینه نسبت به فاز تقویت‌کننده در کامپوزیت‌های زمینه فلزی می‌باشد [۸]. در کامپوزیت‌های زمینه فلزی فاز زمینه عمدتاً یک آلیاژ و به ندرت فلز خالص بوده و فاز تقویت‌کننده به صورت کربنی، فلز و یا افزودنی‌های سرامیکی است [۹].

تفاوت عمده یک کامپوزیت زمینه فلزی با یک آلیاژ دو فاز و یا چند فاز این است که در کامپوزیت زمینه فلزی فاز زمینه و فاز تقویت‌کننده با هم مخلوط می‌شوند درحالی‌که در یک آلیاژ، فاز دوم به صورت ذره‌ای و یا به صورت یک فاز مجزا ایجاد می‌گردد، همانند واکنش‌های یوتکتیک و یوتکتوئید [۱۰].

۲-۱-۶- فاز تقویت کننده در کامپوزیت های زمینه فلزی

شکل (۱-۲) انواع مختلف فازهای تقویت کننده را در مواد کامپوزیتی نشان می دهد [۲]. در سال های اخیر مطالعات روی تقویت کننده های ناپیوسته (ذره و ویسکر) متمرکز شده است، زیرا این نوع تقویت کننده ها تولید آسان تر و قیمت پایین تری داشته و ایزوتروپی خواص آنها بیشتر است [۷].



شکل (۱-۲) انواع مختلف فاز تقویت کننده در کامپوزیت [۲].

۲-۱-۷- ذرات

در میان انواع تقویت کننده ها، ذرات نسبتاً ارزان بوده و نسبت طول به قطر پایینی دارند (در حدود ۵-۱). ذرات می توانند شامل ذرات ریز کروی پلی کریستال و یا ذرات صفحه ای تک کریستال باشند [۵]. ایزوتروپی بالا و بهبود خواص نسبت به ماده زمینه بدون تقویت کننده از مزایای عمده استفاده از تقویت کننده های ذره ای می باشد. اغلب کامپوزیت های زمینه فلزی مهم با استفاده از این نوع تقویت کننده ها می توانند توسط روش های مختلف تولید که در ادامه ذکر می گردد، ساخته شوند [۷].

۲-۱-۸- کامپوزیت های زمینه آلومینیمی

وزن کم، مقاومت محیطی و خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب، آلیاژهای آلومینیم را بسیار عمومی کرده است. این خواص همچنین آلومینیم را برای استفاده به عنوان زمینه در کامپوزیت ها مناسب ساخته است. نقطه ذوب آلومینیم به اندازه کافی بالا است تا جواب گوی بسیاری از کاربردها باشد و به اندازه لازم

پایین است تا فرایند ساخت کامپوزیت را تسهیل نماید. علاوه بر این آلومینیم با اکثر تقویت‌کننده‌ها سازگاری دارد [۵]. برای تولید کامپوزیت‌های زمینه آلومینیمی توسط روش‌های ریخته‌گری بیشتر از آلیاژهای آلومینیم استفاده می‌شود که خواص ریخته‌گری مناسبی دارند. آلیاژهای آلومینیم سری ۳۰۰ نظیر A356، A359، A360، A380 که حاوی مقادیری سیلیسیم برای افزایش سیالیت و منیزیم برای افزایش قابلیت ترشوندگی ذرات سرامیکی هستند، جزء این دسته می‌باشند [۱۱]. در مورد آلیاژهای کارپذیر آلومینیم معمولاً از آلیاژهای سری ۲۰۰۰، ۶۰۰۰ و ۷۰۰۰ استفاده می‌شود [۱۲]. برای مثال آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ از استحکام بالایی برخوردار است و آلیاژ ۶۰۶۱ نیز تلفیق مناسبی از استحکام، مقاومت به خوردگی و شکل‌پذیری را دارا است [۱۳].

آلیاژ آلومینیم A356 به دلیل فاصله دمایی گسترده میان دمای شروع و پایان انجماد (لیکوئیدوس و سالیدوس) به عنوان زمینه در دستیابی به کامپوزیت زمینه آلومینیمی به روش کامپوکستینگ^۱ استفاده می‌شود [۱۴]. آلیاژ آلومینیم A356 یک آلیاژ ریختگی شامل آلومینیم، سیلیسیم و منیزیم می‌باشد. این آلیاژ با ویژگی مکانیکی خوب و انعطاف‌پذیری بالا، همچنین مشخصه‌های ریخته‌گری عالی و مقاومت به خوردگی بالا شناخته می‌شود. خواص مکانیکی این آلیاژ می‌تواند با عملیات حرارتی مناسب مخصوصاً استفاده از عملیات حرارتی T6 بهبود قابل توجهی یابد. این آلیاژ به‌طور گسترده در صنایع اتومبیل‌سازی، هوافضا، صنایع دفاعی و مخصوصاً در صنعت خودروسازی به‌عنوان جایگزین اجزای فولادی به‌کار می‌رود. آلیاژ آلومینیمی A356 همچنین به‌عنوان زمینه در تولید کامپوزیت‌های تقویت‌شده با ذرات و فیبرهای سرامیکی مانند Al_2O_3 ، SiC و غیره به‌منظور بهبود خواص سایشی کامپوزیت مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۵].

۲-۱-۹- کامپوزیت‌های آلومینیم تقویت شده با فاز تقویت‌کننده ناپیوسته^۲

کامپوزیت‌های آلومینیم تقویت‌شده با فاز تقویت‌کننده ناپیوسته تلفیق مناسبی از انعطاف‌پذیری آلومینیم و مدول و استحکام بالای ذرات تقویت‌کننده سرامیکی را دارا هستند [۱۶]. این نوع از کامپوزیت‌ها

^۱ Compo-Casting

^۲ Discontinuously reinforced Aluminum (DRA)