



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی



IMAM KHOMEINI
INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مواد و متالورژی

بررسی تاثیر آهن بر خواص مکانیکی و تریبولوژیکی کامپوزیت های درجای آلومینیوم Al-15wt.%Mg₂Si

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مواد و متالورژی گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

آیدا ندیم

اساتید راهنما:
دکتر رضا تقی آبادی
دکتر احمد رزاقیان

استاد مشاوره:
دکتر محمد تلافی نوغانی

خدایا همیشه تورا ساکرم که در تمام مراحل زندگی یاریم کردی و به من امید بخشیدی

تقدیم به ستارگان زندگیم،

پدر و مادرم که همواره پشتیبان من بوده اند

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر رضاتقی آبادی، دکتر احمد رزاقیان و دکتر نوحانی به خاطر حمایت های بی دریغ و راهبانی های با ارزش ایشان که در طول انجام پروژه راهگشای اینجانب بوده است، کمال تشکر را می نمایم. و نیز از بکاری های مسئولانه و ارزشمند سرکار خانم نظری، سرکار خانم چادرباف و جناب آقای کریمی که راه را برایم هموارتر کردند بی نهایت قدردانم.

همچنین لازم می دانم از مسئولین بخش کنترل کیفیت کارخانه آلومنتک و آلومراد صمیمانه سپاس گزار می نمایم. به امید کامیابی و سعادت تمامی عزیزان.

فهرست مطالب

فهرست مطالب	أ
فهرست جدول ها	ت
فهرست شکل ها	ث
فصل ۱. مقدمه	۱
فصل ۲. مروری بر منابع	۳
۱-۲- معرفی کامپوزیت Al/Mg_2Si	۳
۲-۲- بررسی تاثیر عناصر آلیاژی بر خواص کامپوزیت های Al/Mg_2Si	۶
۱-۲-۲- سیلیسیم	۶
۲-۲-۲- مس	۶
۳-۲-۲- سدیم	۷
۴-۲-۲- منگنز	۷
۵-۲-۲- آهن	۸
۳-۲- بررسی رفتار سایشی کامپوزیت های Al/Mg_2Si	۱۰
۱-۳-۲- بررسی رفتار سایشی کامپوزیت های زمینه آلومینیومی تقویت شده توسط ذرات	۱۰
۱-۱-۳-۲- فاکتورهای ذاتی	۱۰
۱-۱-۳-۲- اندازه ذرات تقویت کننده	۱۱
۲-۱-۳-۲- شکل تقویت کننده	۱۲
۳-۱-۳-۲- کسر حجمی ذرات تقویت کننده	۱۲
۴-۱-۳-۲- نوع تقویت کننده	۱۳
۲-۱-۳-۲- پارامترهای مکانیکی (خارجی)	۱۴
۱-۲-۳-۲- باراعمالی	۱۴

۱۶	..... ۲-۲-۱-۳-۲- سرعت لغزشی
۱۷	..... ۲-۳-۲- بررسی رفتار سایشی کامپوزیت های Al/Mg ₂ Si
۲۱	..... ۴-۲- بررسی تاثیر ناخالصی آهن بر خواص مکانیکی و سایشی آلیاژهای Al-Si
۲۱	..... ۱-۴-۲- تشکیل ترکیبات بین فلزی غنی از آهن حین انجماد
۲۳	..... ۲-۴-۲- بررسی تاثیر آهن بر خواص مکانیکی آلیاژهای Al-Si
۲۴	..... ۳-۴-۲- بهسازی شیمیایی ترکیبات غنی از آهن آلیاژهای آلومینیوم توسط منگنز
۲۵	..... ۴-۴-۲- بررسی تاثیر آهن بر رفتار سایشی آلیاژهای Al-Si
۲۸	..... فصل ۳. مواد و روش پژوهش
۲۸	..... ۱-۳- تهیه و آماده سازی مواد اولیه
۲۸	..... ۱-۱-۳- تهیه کامپوزیت Al/15Mg ₂ Si
۲۹	..... ۲-۱-۳- تهیه نمونه های حاوی آهن و منگنز
۳۰	..... ۲-۳- بررسی ساختار میکروسکوپی، آنالیز تصویری و شیمیایی
۳۰	..... ۳-۳- بررسی خواص مکانیکی
۳۰	..... ۱-۳-۳- آزمون کشش
۳۱	..... ۲-۳-۳- آزمون سختی
۳۲	..... ۴-۳- بررسی خواص سایشی
۳۲	..... ۱-۴-۳- طراحی آزمایش سایش
۳۳	..... فصل ۴. نتایج و بحث
۳۳	..... ۱-۴- ساختار میکروسکوپی نمونه های ریخته گری شده در قالب چدنی پیش گرم شده
۳۳	..... ۱-۱-۴- بررسی ریزساختار نمونه های حاوی آهن
۳۸	..... ۲-۱-۴- بررسی ریزساختار نمونه های بهسازی شده توسط منگنز
۴۳	..... ۲-۴- بررسی خواص مکانیکی
۴۳	..... ۱-۲-۴- نتایج آزمون کشش
۴۶	..... ۳-۴- نتایج سختی سنجی

۴۸	۴-۴- تاثیر ترکیبات بین فلزی غنی از آهن بر رفتار سایشی کامپوزیت Al/Mg ₂ Si در دمای محیط.....
۴۸	۴-۴-۱- نتایج آزمایش سایش کامپوزیت های حاوی آهن.....
۵۶	۴-۴-۲- نتایج آزمایش سایش کامپوزیت های بهسازی شده توسط منگنز.....
۶۲	فصل ۵. نتیجه گیری.....
۶۴	مراجع.....

فهرست جدول ها

أ	فهرست مطالب.....
ت	فهرست جدول ها.....
ث	فهرست شکل ها.....
۱	فصل ۱. مقدمه.....
۳	فصل ۲. مروری بر منابع.....
۴	جدول ۱-۲: خواص مکانیکی و شیمیایی اینترمتالیک های Mg ₂ Si [۱،۳،۵].....
۲۸	فصل ۳. مواد و روش پژوهش.....
۲۹	جدول ۱-۳: ترکیب شیمیایی کامپوزیت پایه در این پژوهش (wt.%).....
۳۲	جدول ۲-۳: پارامتر های آزمایش سایش در این پژوهش.....
۳۳	فصل ۴. نتایج و بحث.....
۳۶	جدول ۱-۴: ترکیب شیمیایی متوسط ترکیبات بین فلزی غنی از آهن (at%).....
۴۰	جدول ۲-۴: ترکیب شیمیایی متوسط ترکیبات بین فلزی غنی از آهن (at%).....
	جدول ۳-۴: مقادیر سختی میکروسکپی برخی از مهمترین اجزای موجود در ریزساختار کامپوزیت مورد تحقیق.....
۴۷	ریزساختار کامپوزیت مورد تحقیق.....

جدول ۴-۴: نتایج نرخ سایش کامپوزیت های حاوی مقادیر مختلف آهن بر حسب بار اعمالی ۴۹

جدول ۴-۵: نتایج آنالیز EDS سطح پین کامپوزیت پایه و ۲ درصد آهن پس از سایش به مسافت ۱۰۰۰ متر در دمای محیط، سرعت ۰/۱۳ m/s و بار اعمالی ۲۱ نیوتن (wt.%) ۵۱

جدول ۴-۶: نتایج آنالیز EDS ذرات سایشی کامپوزیت های حاوی ۲ درصد آهن و پایه، پس از سایش به مسافت ۱۰۰۰ متر در دمای محیط، سرعت ۰/۱۳ m/s و بار اعمالی ۲۱ نیوتن (wt.%) ۵۲

جدول ۴-۷: نتایج آنالیز EDS سطح پین پایه، ۱Fe و ۲Fe در بار ۵۷ نیوتن (wt.%) ۵۴

جدول ۴-۸: نتایج نرخ سایش کامپوزیت های حاوی مقادیر مختلف آهن بر حسب بار اعمالی ۵۷

جدول ۴-۹: نتایج آنالیز EDS سطح پین پایه و ۱ FeMn در بار ۵۷ نیوتن (wt.%) ۵۹

فصل ۵. نتیجه گیری ۶۲

مراجع ۶۴

فهرست شکل ها

فهرست مطالب ا

فهرست جدول ها ت

فهرست شکل ها ث

فصل ۱. مقدمه ۱

فصل ۲. مروری بر منابع مطالعاتی ۳

شکل ۱-۲: دیاگرام فازی Al-Mg₂Si [۶] ۵

شکل ۲-۲: (الف)-(ج) ریزساختار های انجمادی آلیاژهای Al-x%Mg₂Si (الف: x=15,20,30; ب: x=20; ج: x=30) (د)-(و) اشکال سه بعدی متفاوت Mg₂Si اولیه: (د) هشت وجهی کامل; (ه) هشت وجهی حفره دار; (م) هشت وجهی ناقص; (و) دندریتی [۴] ۵

شکل ۲-۳: ریزساختار کامپوزیت $Al/15Mg_2Si$ حاوی مقادیر (الف) ۰٪ و (ب) ۱٪ منگنز [۱۰]..... ۸

شکل ۲-۴: تغییرات (الف) کسر حجمی، (ب) استحکام کششی و تسلیم و (ج) درصد ازدیاد طول کامپوزیت Al/Mg_2Si حاوی درصد های وزنی مختلف آهن [۱۱]..... ۹

شکل ۲-۵: نمودار تغییر استحکام کششی و درصد ازدیاد طول بر حسب کسر حجمی ذرات تقویت کننده در کامپوزیت های مختلف [۱۲]..... ۱۳

شکل ۲-۶: نمودار لگاریتمی نرخ سایش بر حسب بار نرمال آلیاژ A356 (O) و کامپوزیت

$A356-20\%SiC_p$ (■) [۱۴]..... ۱۵

شکل ۲-۷: نرخ سایش آلیاژهای $Al-12Si-20Mg$ حاوی مقادیر مختلف مس بر حسب مسافت سایش در بارهای

(الف) ۳ نیوتن، (ب) ۵ نیوتن و (ج) ۲۰ نیوتن [۱۶]..... ۱۸

شکل ۲-۸: تصویر میکروسکپ الکترونی سطوح سایش آلیاژهای $Al-12Si-20Mg$ و $Al-12Si-20Mg-4Cu$ در بارهای

۲۰ و ۳۰ نیوتن [۱۶]..... ۱۸

شکل ۲-۹: نمودار نرخ سایش بر حسب بار اعمالی آلومینیوم خالص، کامپوزیت اصلاح نشده و شده Al/Mg_2Si [۱۷]..... ۲۰

شکل ۲-۱۰: زیر سطح سایش کامپوزیت اصلاح شده Al/Mg_2Si [۱۷]..... ۲۰

شکل ۲-۱۱: تصویر ترکیبات بین فلزی غنی از آهن در آلیاژ $Al-5\%Si-1\%Cu-0.5\%Mg-(Fe)$: (الف) صفحه های

$\beta-Al_5FeSi$ ، (ب) حروف چینی $\alpha-Al_8Fe_2Si$ [۱۹]..... ۲۲

شکل ۲-۱۲: ریزساختار نمونه های شکست میله ای آلیاژ $Al-5\%Si-1\%Cu$; (الف) صفحه های $\beta-Al_5FeSi$ ،

(ب) فاز حروف چینی $\alpha-Al_{15}(Fe, Mn)_3Si_2$ [۱۹]..... ۲۴

شکل ۲-۱۳: (الف) سطح ساییده شده آلیاژ $F3332$ حاوی ۱/۸ درصد آهن در بار ۴۰ نیوتن، نشان دهنده صفحه های

بزرگ بتا، (ب) مقطع طولی نمونه ۱/۸ درصد آهن شامل ترک های زیر سطحی [۲۰]..... ۲۶

شکل ۲-۱۴: تغییرات نرخ سایش آلیاژ $F3332$ حاوی مقادیر مختلف آهن در بارهای گوناگون [۲۰]..... ۲۶

فصل ۳. مواد و روش پژوهش..... ۲۸

شکل ۳-۱: تصویر نمادین از: (a) قالب چدنی و (b) نمونه آزمایش کشش با ابعاد مربوطه..... ۳۱

شکل ۳-۲: تصویر شماتیک از دستگاه پین بر روی دیسک..... ۳۲

فصل ۴. نتایج و بحث..... ۳۳

شکل ۴-۱: (الف) ریزساختار کامپوزیت پایه ($Al/15Mg_2Si$) در حالت ریختگی (محلول حکاکی HF ۱٪)، (ب) طیف

آنالیز عنصری رسوبات چندوجهی تیره رنگ موجود در زمینه در شکل (الف) (با فلش نشان داده شده)..... ۳۴

- شکل ۴-۲: تصویر میکروسکپ نوری ریزساختار کامپوزیت Al/Mg_2Si حاوی مقادیر مختلف آهن (الف) ۰٪، (ب) ۰.۵٪، (ج) ۱٪ و (د) ۲٪. فاز صفحه ای بتا $\beta-Al_5FeSi$ روی تصاویر مشخص گردیده است (محلول حکاکی HF ۱٪). ۳۵.....
- شکل ۴-۳: طیف آنالیز عنصری یکی از رسوبات سوزنی شکل موجود در ریزساختار کامپوزیت حاوی ۲ درصد آهن ۳۵
- شکل ۴-۴: تغییرات (الف) میانگین طول و (ب) کسر حجمی فاز بتا در کامپوزیت های حاوی مقادیر مختلف آهن ۳۶
- شکل ۴-۵: تغییرات (الف) اندازه و (ب) کسر حجمی ذرات Mg_2Si اولیه در کامپوزیت های حاوی مقادیر مختلف آهن ۳۷
- شکل ۴-۶: ریزساختار یوتکتیک در کامپوزت پایه و کامپوزیت حاوی مقادیر مختلف آهن ۳۸
- شکل ۴-۷: ریزساختار کامپوزیت های حاوی آهن بهسازی شده توسط منگنز، (الف) $FeMn/0.5$ ، (ب) $FeMn/1$ و (ج) $FeMn/2$. ترکیبات بین فلزی با مورفولوژی تیغه ای و حروف چینی به ترتیب با علامت های اختصاری P و C مشخص شده است (محلول حکاکی HF ۱٪). ۳۹.....
- شکل ۴-۸: طیف آنالیز عنصری رسوب غنی از آهن و منگنز در کامپوزیت $FeMn/2$ ۳۹
- شکل ۴-۹: تغییرات کسر حجمی فاز آلفا حروف چینی در کامپوزیت های حاوی مقادیر مختلف آهن بهسازی شده توسط منگنز ۴۰.....
- شکل ۴-۱۰: تغییرات اندازه (الف) و کسر حجمی (ب) ذرات Mg_2Si اولیه در کامپوزیت های حاوی مقادیر مختلف آهن بهسازی شده توسط منگنز ۴۱.....
- شکل ۴-۱۱: ریزساختار یوتکتیک در کامپوزت های پایه و بهسازی شده توسط منگنز ۴۲.....
- شکل ۴-۱۲: تغییرات استحکام کششی کامپوزیت های بهسازی نشده و بهسازی شده بر حسب درصد آهن ۴۴.....
- شکل ۴-۱۳: تغییرات درصد ازدیاد طول نمونه های بهسازی شده و نشده بر حسب درصد وزنی آهن ۴۴.....
- شکل ۴-۱۴: تصویر میکروسکپ الکترونی سطح شکست نمونه کشش (الف) کامپوزیت پایه، (ب) کامپوزیت $Fe/2$ و (ج) کامپوزیت $FeMn/1$ ۴۵.....
- شکل ۴-۱۵: تغییرات سختی نمونه های بهسازی شده و نشده در مقادیر مختلف آهن ۴۷.....
- شکل ۴-۱۶: تاثیر بار اعمالی بر نرخ سایش کامپوزیت پایه $Al/15Mg_2Si$ و کامپوزیت های حاوی مقادیر مختلف آهن ۴۹.....
- شکل ۴-۱۷: تصویر میکروسکپ الکترونی سطح پین (الف) کامپوزیت پایه و (ب) $Fe/2$ پس از سایش به مسافت ۱۰۰۰ متر، سرعت ۰/۱۳ متر بر ثانیه و بار اعمالی ۲۱ نیوتن ۵۰.....
- شکل ۴-۱۸: تصویر میکروسکپ الکترونی ذرات ناشی از سایش کامپوزیت های پایه، حاوی آهن و بهسازی شده توسط منگنز، کامپوزیت پایه (الف) و $Fe/2$ (ب) تحت بار ۲۱ نیوتن ۵۲.....

- شکل ۴-۱۹: تصویر میکروسکپ الکترونی سطح بین کامپوزیت های (الف) پایه، (ب) $1Fe$ ، (ج) $2Fe$ پس از سایش به مسافت ۱۰۰۰ متر در دمای محیط، سرعت 0.13 m/sec و بار 57 نیوتن ۵۴
- شکل ۴-۲۰: تاثیر بار اعمالی بر نرخ سایش کامپوزیت های پایه $Al/15Mg_2Si$ و بهسازی شده توسط منگنز ۵۷
- شکل ۴-۲۱: زیر سطح سایش کامپوزیت پایه (الف) و $2FeMn$ (ب) تحت بار 21 نیوتن ۵۷
- شکل ۴-۲۲: عمق ناحیه تغییر شکل یافته نمونه های (الف) پایه، (ب) $1FeMn$ و (ج) $2FeMn$ ۵۹
- شکل ۴-۲۳: تصویر میکروسکپ الکترونی سطح بین کامپوزیت های (الف) $1FeMn$ ، (ب) تصویر قسمت الف در بزرگ نمایی بالا، (ج) پایه و (د) تصویر قسمت ج در بزرگ نمایی بالا پس از سایش به مسافت ۱۰۰۰ متر در دمای محیط، سرعت 0.13 m/sec و بار 57 نیوتن ۶۱
- فصل ۵. نتیجه گیری ۶۲
- مراجع ۶۴

چکیده

در پژوهش حاضر تاثیر افزودن عنصر آهن بر تغییرات ریزساختاری، خواص کششی و سایشی کامپوزیت Al/15wt.% Mg₂Si مورد بررسی قرار گرفته است. اگرچه آهن به عنوان یکی از متداول ترین ناخالصی های آلیاژهای آلومینیوم شناخته شده است و در فرایند تولید به حداقل مقدار کاسته می شود، مشاهده شده است که با کنترل میزان آهن می توان به بهبود خواص سایشی آلیاژهای Al-Si دست یافت. لذا ابتدا کامپوزیت Al-Mg₂Si با استفاده از فلزات خالص Al، Si و Mg از طریق فرآیند ریخته گری ساخته و سپس نمونه های حاوی مقادیر مختلف ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی آهن جهت بررسی ریزساختاری و خواص مکانیکی و سایشی (تحت بار های ۲۱، ۳۵ و ۵۷ نیوتن) تهیه شد. نتایج بررسی های ریزساختاری نشان می دهد که آهن باعث تغییر شکل ذرات تقویت کننده از اشکال غیر معمول و نامنظم به چند وجهی های منظم با ابعاد کوچک تر، ظریف تر شدن ساختار یوتکتیک و همچنین تشکیل ترکیبات بین فلزی غنی از آهن موسوم به بتا در تمامی نمونه ها شده است. مشاهده می شود تمامی نمونه ها به جز کامپوزیت حاوی ۰/۵ درصد آهن، دچار افت خواص مکانیکی شده اند. در عین حال نشان داده شده است که افزودن آهن باعث افزایش بار انتقالی از سایش خفیف به شدید در تمامی نمونه ها و نیز کاهش نسبی ۶ و ۱۰ درصدی نرخ سایش نمونه های حاوی ۰/۵ و ۱ درصد آهن در بار ۵۷ نیوتن در مقایسه با کامپوزیت پایه می شود. افزایش پایداری حرارتی کامپوزیت های حاوی آهن ناشی از حضور ترکیبات سخت بتا می تواند باعث کاهش نرخ سایش این کامپوزیت ها در بار اعمالی بالای ۵۷ نیوتن شده باشد. در ادامه نیز به منظور کاهش اثرات منفی فاز بتا، عنصر منگنز به نمونه های حاوی آهن افزوده شد. در این کامپوزیت ها با تشکیل فاز آلفای حروف چینی به جای بتای صفحه ای، خواص مکانیکی و سایشی نمونه ها افزایش یافته است. تاثیر بارهای اعمالی بر چگونگی رفتار سایشی کامپوزیت های حاوی آهن، بهسازی شده توسط منگنز و همچنین کامپوزیت پایه نیز مورد بحث قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: کامپوزیت آلومینیوم، خواص تریبولوژیکی، آهن، منیزیم سیلیساید، ترکیب بین فلزی، سایش.

۱- مقدمه

کامپوزیت های $Al/15Mg_2Si$ به عنوان دسته جدیدی از کامپوزیت های زمینه آلومینیومی تقویت شده توسط ذرات، اخیراً مورد توجه بسیاری قرار گرفته اند. این کامپوزیت ها به دلیل سهولت فرایند تولید به روش ریخته‌گری (درجا) و خواص مطلوب ذرات تقویت کننده منیزیم-سیلیساید، دارای پتانسیل بالایی جهت کاربردهای صنعتی هستند در حالیکه شکل‌پذیری کم این کامپوزیت ها، ناشی از بزرگ بودن ذرات Mg_2Si اولیه و زمینه یوتکتیکی ترد آن از معایب این کامپوزیت ها به شمار می رود. به همین علت در راستای اصلاح خواص مکانیکی این نوع کامپوزیت ها، پژوهش های بسیاری در زمینه فرایند تولید، بهسازی شیمیایی و عملیات حرارتی انجام شده است که می توان به افزودن عناصر آلیاژی مختلف از قبیل $P, Sr, Ce, Ti, B, Zr, \dots$ و همچنین روش های فرآوری نیمه جامد^۱، عملیات حرارتی انحلال، آلیاژسازی مکانیکی و انجماد سریع اشاره کرد. امکان استفاده از این کامپوزیت ها در مصارف سایشی به سبب حضور ترکیبات بین فلزی سخت منیزیم سیلیساید به عنوان ذرات تقویت کننده در زمینه این کامپوزیت ها، پتانسیل این دسته از مواد مهندسی را جهت استفاده در کاربردهایی که نیازمند خواص سایشی مطلوب هستند افزایش داده است. در عین حال که خواص سایشی این کامپوزیتها مشابه سایر کامپوزیت‌های زمینه فلزی متاثر از عوامل مختلف نظیر ترکیب شیمیایی، مورفولوژی، ابعاد، کسر حجمی و نحوه توزیع ذرات تقویت کننده در زمینه، پارامترهای سایشی و . . . است، یکی از مهمترین عوامل موثر بر خواص مکانیکی و سایشی کامپوزیت ها، نوع و میزان ناخالصی ها به ویژه ناخالصی هایی است که می توانند بر روی مورفولوژی، ابعاد، کسر حجمی و/یا ماهیت ذرات تقویت کننده تاثیر گذار باشند. آهن به عنوان مهمترین و مضرترین ناخالصی آلیاژهای آلومینیوم، حین فرایند انجماد پس از ترکیب با آلومینیوم، سیلیسیم و برخی دیگر از عناصر شیمیایی به صورت ترکیبات غنی از آهن در زمینه آلیاژ رسوب کرده و به دلیل مورفولوژی تیغه ای شکل می تواند باعث تردی آلیاژ و افت خواص آن شود. با توجه به حضور سیلیسیم در این ترکیبات، این احتمال وجود دارد که آهن علاوه بر تشکیل رسوبات با مورفولوژی نامناسب، موجب تغییر خواص کامپوزیت به واسطه تغییر ماهیت و کسر حجمی ترکیبات سخت Mg_2Si شود. بر این اساس در این تحقیق سعی شده است تاثیر

¹ Semi-solid processing techniques

ناخالصی آهن بر روی خواص سایشی کامپوزیت $Al/15Mg_2Si$ به صورت روشمند مورد بررسی قرار گیرد. و با بهسازی شیمیایی کامپوزیت های حاوی آهن توسط منگنز از اثرات منفی حضور ترکیبات غنی از آهن کاسته شود.

۲- مروری بر منابع مطالعاتی

کامپوزیت های زمینه آلومینیومی تقویت شده توسط ذرات، به واسطه خواص مطلوب آنها از قبیل دانسیته کم، قابلیت ریخته گری عالی، مقاومت سایشی خوب، خواص فیزیکی مطلوب و نیز هزینه های تولید کم، توجه زیادی را به خود جلب کرده اند و می توانند به عنوان جایگزین مناسب فولاد در صنایع خوردوسازی باعث کاهش مصرف سوخت شوند [۱-۴]. یکی از فرایندهای ساخت کامپوزیت های زمینه آلومینیومی، فرایند درجا است که نسبت به دیگر روشها هزینه تولید بسیار کمتری داشته، توزیع یکنواخت ذرات تقویت کننده و فصل مشترک مناسب زمینه-تقویت کننده به دلیل پایداری ترمودینامیکی از مزیت های این روش است. فرایند ساده تولید و کیفیت مطلوب فصل مشترک کامپوزیت های آلومینیومی درجا باعث شده اخیرا مورد توجه واقع شوند [۱-۵]. کامپوزیت Al/Mg_2Si یکی از کامپوزیت های زمینه آلومینیومی با قابلیت ها و ضعف های گوناگون است که در این بخش به معرفی این کامپوزیت و پژوهش های انجام شده بر آن پرداخته می شود و در ادامه خواص سایشی کامپوزیت های زمینه فلزی و تاثیر پارامترهای سایشی ذکر می گردد.

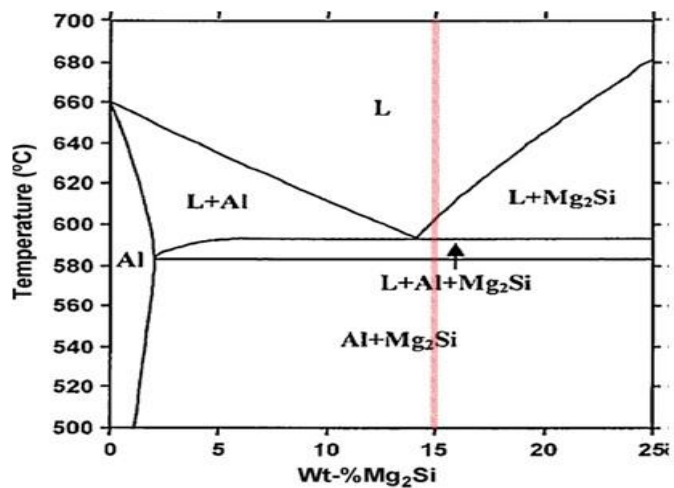
۲-۱- معرفی کامپوزیت Al/Mg_2Si

آلیاژهای شبه دوتایی $Al-Mg_2Si$ حاوی مقادیر بیش از ۱۳/۹ درصد Mg_2Si ، کامپوزیت های درجای Al/Mg_2Si را تشکیل می دهند. کامپوزیت های Al/Mg_2Si به عنوان دسته ی جدیدی از مواد فوق سبک برای فضاپیما و همچنین کاربردهای مهندسی پیشرفته توجه روز افزون طراحان مهندسی و محققین مواد را به خود جلب کرده است. کاربرد مهندسی این کامپوزیت ها به عنوان قطعات سازه ای به علت چکش پذیری ضعیف در دمای محیط محدود شده [۲] اما به دلیل خواص ویژه ذرات تقویت کننده و همچنین سهولت فرایند تولید، پژوهش های متعددی به منظور اصلاح خواص آن صورت گرفته است [۳]. اندازه درشت ذرات Mg_2Si ، زمینه ترد یوتکتیک $Al-Mg_2Si$ و توزیع ناهمگن ذرات تقویت کننده در کامپوزیت ریخته گری شده در شرایط معمول از دلایل چکش پذیری کم و استحکام ضعیف هستند. بنابراین تلاش ها و تحقیقات انجام شده بر ریزکردن ذرات اولیه و یوتکتیک، اصلاح ساختار و نحوه ی توزیع ذرات متمرکز شده است [۱-۳]. خواص ترکیب بین فلزی Mg_2Si و دیاگرام فازی $Al-Mg_2Si$ به ترتیب در جدول ۲-۱ و شکل ۲-۱

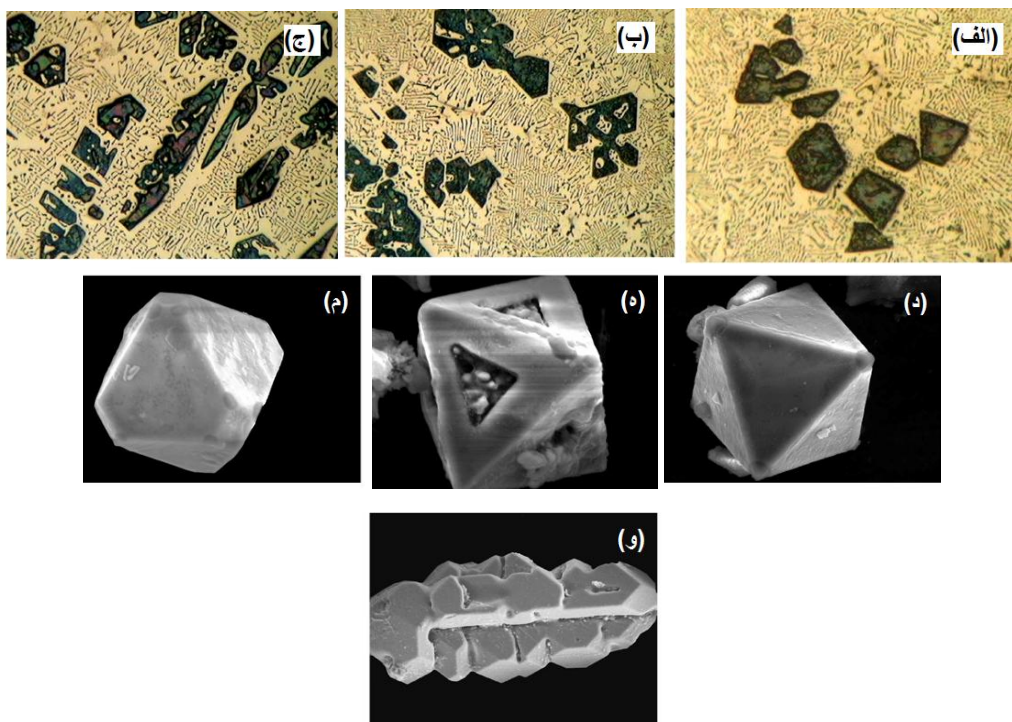
ارائه شده است. همانطور که ذکر شد کامپوزیت، شامل ذرات Mg_2Si اولیه ای است که در اولین مراحل انجماد شکل می گیرند. رشد ذرات Mg_2Si در شرایط معمول انجماد به علت آنتروپی ذوب بالا، رخدار می باشد که در نهایت ساختار به شکل هشت وجهی خواهد بود. اما این تنها ساختار مشاهده شده نیست، اشکالی چون هشت وجهی ناقص، ذرات حفره دار، مکعبی و دندریتی نیز همانطور که در شکل ۲-۲ ارائه شده است به وضوح مشاهده شده اند [۴].

جدول (۱-۲): خواص مکانیکی و شیمیایی اینترمتالیک های Mg_2Si [۵،۳،۱]

Melting Point, °C	Density, Kgm^{-3}	Hardness, Nm^{-2}	CTE, K^{-1}	Elastic Modulus, GPa
۱۰۸۵	$۱/۹۹ \times ۱۰^۳$	$۴/۵ \times ۱۰^۹$	$۷/۵ \times ۱۰^{-۶}$	۱۲۰



شکل (۲-۱): دیاگرام فازی Al-Mg₂Si [۶].



شکل (۲-۲): (الف)-(ج) ریزساختارهای انجمادی آلیاژهای Al-x% Mg₂Si (الف: x=15, 20, 30); x=15

(ب) x=20 ; (ج) x=30.

(د)-(و) اشکال سه بعدی متفاوت Mg₂Si اولیه: (د) هشت وجهی کامل; (ه) هشت وجهی حفره دار; (و) هشت وجهی

ناقص; (و) دندریتی [۴].

۲-۲- بررسی تاثیر عناصر آلیاژی بر خواص کامپوزیت های Al/Mg₂Si

همانطور که ذکر شد با وجود مزایای زیاد کامپوزیت های Al/Mg₂Si، معایبی همچون درشت بودن ذرات Mg₂Si اولیه و یوتکتیک سبب افت خواص مکانیکی این کامپوزیت ها می شود. به همین علت تلاش هایی در جهت بهبود خواص مکانیکی این کامپوزیت ها انجام شده که می توان به بررسی نتایج روش های پیشرفته تولید همچون آلیاژسازی مکانیکی، انجماد سریع [۳ و ۲]، عملیات حرارتی [۷ و ۵] و آلیاژسازی کامپوزیت توسط افزودن عناصر مختلف [۵ و ۲] اشاره کرد. در این بخش تاثیر افزودن عناصر آلیاژی بر خواص کامپوزیت های Al/Mg₂Si بررسی می شود.

۲-۲-۱- سیلیسیم

افزایش عنصر سیلیسیم منجر به بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت می شود به طوری که بررسی های ریزساختاری نشان می دهد افزودن Si باعث تغییر اندازه ذرات Mg₂Si اولیه و کسر حجمی فازهای α -Al و Mg₂Si می شود. با افزودن مقادیر ۰/۵ تا ۷ درصد وزنی سیلیسیم به کامپوزیت Al/Mg₂Si استحکام کششی و درصد ازدیاد طول در حال افزایش است اما با توجه به افزایش بسیار جزئی استحکام و درصد ازدیاد طول در مقادیر بیشتر از ۰/۲٪، میزان بهینه سیلیسیم ۰/۲٪ وزنی است. در مقدار بهینه، کاهش اندازه ذرات Mg₂Si اولیه و افزایش کسر حجمی α -Al از دلایل بهبود خواص ذکر شده است [۵].

۲-۲-۲- مس

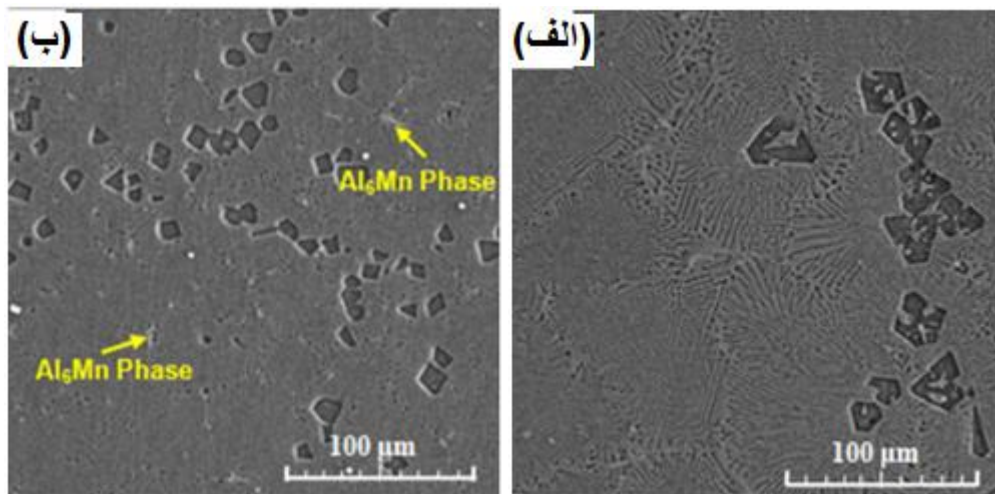
افزودن مس به مقادیر زیاد (۱ تا ۵ درصد وزنی) باعث افزایش استحکام کششی و سختی و نیز کاهش درصد ازدیاد طول می شود. جدایش فازهای اینترمتالیک غنی از مس Q, θ بین سلول های یوتکتیک در مراحل نهایی انجماد از دلایل شکست ترد و کاهش درصد ازدیاد طول ذکر شده است [۸].

۲-۲-۳- سدیم

مشاهده شده است که افزودن ۰/۱٪ وزنی سدیم به کامپوزیت باعث تقویت همزمان استحکام کششی و درصد ازدیاد طول این کامپوزیت ها می شود. بررسی ریز ساختاری نشان می دهد افزودن سدیم به میزان ۰/۱ باعث تغییر شکل ذرات منیزیم-سیلیساید اولیه از بی قاعده به چند وجهی منظم، کاهش کسر حجمی ذرات Mg_2Si اولیه و توزیع یکنواخت فاز تقویت کننده می شود. همچنین ساختار یوتکتیک از حالت صفحه ای به میله ای تغییر می کند. مقادیر بیشتر سدیم منجر به درشت شدن مجدد ذرات تقویت کننده و افت استحکام کششی می شود [۹].

۲-۲-۴- منگنز

شکل ۲-۳ تاثیر افزودن ۱ درصد منگنز را بر ریزساختار کامپوزیت Al/Mg_2Si نشان می دهد. بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت های حاوی مقادیر متفاوت منگنز (۰/۵ تا ۵ درصد وزنی) نشان می دهد استحکام کششی و درصد ازدیاد طول بهینه زمانی حاصل می شود که ۲ درصد وزنی منگنز به کامپوزیت افزوده شده باشد. از دلایل بهبود خواص مکانیکی اصلاح همزمان ذرات منیزیم سیلیساید اولیه و یوتکتیک می باشد. به این صورت که ذرات Mg_2Si اولیه از شکل بی قاعده به چندوجهی با اندازه کوچکتر و حتی مکعبی تبدیل می شود و یوتکتیک از حالت تیغه ای به میله ای تغییر شکل می دهد. نشان داده شده منگنز با مسموم کردن سطح ذرات در حال رشد سبب این دگرگونی می شود. بررسی سطح شکست کامپوزیت اصلاح شده نیز نشان دهنده افزایش تعداد حفره های سطح، افزایش تعداد ذرات شکسته شده و متقابلاً کاهش آثار جدایش فصل مشترک ذرات تقویت کننده با زمینه است که سبب بهبود انعطاف پذیری این نمونه ها در مقایسه با کامپوزیت اصلاح نشده می شود [۱۰].



شکل (۲-۳): ریزساختار کامپوزیت $Al/15Mg_2Si$ حاوی مقادیر (الف) ۰٪ و (ب) ۱٪ منگنز [۱۰].

۲-۲-۵- آهن

امامی و همکاران [۱۱]، تاثیر افزودن درصد های مختلف آهن (۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳ درصد وزنی) را بر ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت Al/Mg_2Si بررسی کرده اند. نتایج پژوهش نشان می دهد افزودن ۲ درصد آهن به کامپوزیت باعث تغییر مورفولوژی ذرات منیزیم-سیلیساید اولیه از شکل های بی قاعده و نامنظم به چندوجهی های منظم و نیز کاهش سایز ذرات از ۳۳ میکرومتر به ۱۵ میکرومتر می شود. همچنین افزودن آهن باعث تشکیل ترکیبات غنی از آهن با مورفولوژی های مختلف چندوجهی، صفحه ای و ستاره ای شده است. چگونگی تغییر مورفولوژی این ترکیبات بر حسب میزان آهن در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشخص است کسر حجمی ترکیبات بین فلزی غنی از آهن با افزایش مقدار آهن افزایش می یابد. همچنین مشاهده می شود ترکیبات صفحه ای شکل در مقادیر کم آهن (کمتر از ۱/۵ درصد وزنی) قابل مشاهده نبوده، ولی افزودن ۲ درصد آهن به کامپوزیت باعث افزایش کسر حجمی ترکیبات چندوجهی شده است و همچنان میزان ترکیبات صفحه ای و ستاره ای شکل کم است و با افزایش آهن به ۳ درصد، مقدار زیادی از ترکیبات غنی از آهن با مورفولوژی های متفاوت تشکیل شده اند. آهن با تشکیل ترکیبات سخت غنی از آهن بر سختی و استحکام کششی کامپوزیت تا حدودی تاثیر مثبت گذاشته است. به طوری که فازهای غنی از آهن به عنوان تقویت کننده عمل کرده و با ایجاد مانع