



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

سمینار برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “M.Sc”
مهندسی مواد-شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

عنوان :

بررسی خواص آلیاژهای منیزیم حاوی عناصر کمیاب خاکی

استاد راهنما :

نگارش:

	فهرست مطالب
1	چکیده
2	مقدمه
4	<u>فصل اول: کلیات</u>
5	هدف و پیشینه تحقیق
6	<u>فصل دوم: بررسی خواص مکانیکی آلیاژهای منیزیم حاوی RE</u>
7	2-1- بررسی خواص استحکامی آلیاژهای منیزیم حاوی RE
7	2-1-1- بررسی خواص استحکامی آلیاژهای پایه Mg-Al
8	2-1-2- بررسی خواص استحکامی آلیاژهای AZ91-xRE
9	2-1-3- بررسی خواص استحکامی آلیاژهای AZCR
10	2-1-4- بررسی خواص استحکامی آلیاژ ZA84 حاوی RE
12	2-1-5- بررسی اثر RE بر روی خواص استحکامی آلیاژهای Mg-Al
13	2-1-6- بررسی خواص استحکامی آلیاژهای Mg-Nd-Zn-Zr و Mg-Ce-Zn-Zr Mg-Y-Nd-Zn-Zr
13	2-1-7- بررسی خواص کششی آلیاژ AZ84 حاوی عناصر کمیاب خاکی (RE) در دمای محیط
16	2-1-8- بررسی خواص کششی آلیاژهای ZA84 - XRE در دمای بالا
	2-1-9- بررسی اثر عناصر کمیاب خاکی (RE) بر روی خواص مکانیکی آلیاژهای 17Mg - Li
23	2-2- بررسی اثر عناصر کمیاب خاکی بر روی سختی آلیاژهای منیزیم

- 23 2-1-2 بررسی سختی آلیاژهای پایه $Mg-Al$ حاوی عناصر کمیاب خاکی
- 24 2-2-2 بررسی سختی آلیاز $ZA84$ حاوی عناصر کمیاب خاکی
- 27 2-3 شکست نگاری آلیاژهای منیزیم حاوی RE
- 29 2-3-1 شکست نگاری آلیاژهای $AZ91-xRE$ و $Mg-6Al-xRE$
- 32 2-3-2 شکست نگاری آلیاز $ZA84$ حاوی عناصر کمیاب خاکی
- 33 2-3-4 شکست نگاری آلیاژهای $Mg-Nd-Zn-Zr$ و $Mg-Ce-Zn-Zr$
 $Mg-Y-Nd-Zn-Zr$
- 35 فصل سوم: قابلیت ریخته گری آلیاژهای منیزیم حاوی عناصر کمیاب خاکی
- 36 3-1- تاثیر عناصر کمیاب خاکی بر روی انجاد آلیاژهای منیزیم
- 38 3-2- سیالیت آلیاژهای منیزیم حاوی RE
- 39 3-2-1- تاثیر ضخامت سطح مقطع بر روی سیالیت آلیاژهای منیزیم حاوی RE
- 41 3-2-2- تاثیر دمای ریختن مذاب بر روی سیالیت آلیاژهای منیزیم حاوی RE
- 43 3-2-3- تاثیر دمای قالب بر روی سیالیت آلیاژهای منیزیم حاوی RE
- 44 3-2-4- تاثیر مقادیر عناصر کمیاب خاکی بر روی سیالیت آلیاژهای منیزیم حاوی RE
- 46 3-3- تاثیر عناصر کمیاب خاکی بر مقاومت ترک گرم آلیاژهای منیزیم

47	3-3-1- تاثیر عناصر کمیاب خاکی بر مقاومت ترک گرم آلیاژهای <i>Mg-Al</i>
47	3-3-2- تاثیر عناصر کمیاب خاکی بر شکست نگاری ترک گرم آلیاژهای <i>Mg-Al</i>
48	3-3-3- مکانیزم تاثیر <i>RE</i> بر روی مقاومت ترک گرم آلیاژهای <i>Mg-Al</i>
53	فصل چهارم: مقاومت خوردگی آلیاژهای منیزیم حاوی عناصر کمیاب خاکی
54	4-1- خوردگی عمومی منیزیم
55	4-2- مقاومت خوردگی آلیاژهای منیزیم حاوی عناصر کمیاب خاکی
60	4-3- بررسی اثر عناصر کمیاب خاکی بر روی مقاومت خوردگی آلیاژ <i>AZ91</i>
60	4-3-1- مورفولوژی خوردگی آلیاژ <i>AZ91</i>
62	4-3-2- پلاریزاسیون الکتروشیمیایی آلیاژهای <i>AZR</i>
63	4-4- بررسی رفتار خوردگی آلیاژهای <i>WE43</i> و <i>Mg-Tb-Nd</i>
64	4-5- خوردگی تنش آلیاژهای منیزیم حاوی عناصر کمیاب خاکی
66	4-5-1- مورفولوژی خوردگی
67	4-5-2- اندیس تمایل به خوردگی تنشی (<i>Isc</i>)
71	فصل پنجم- نتیجه گیری و پیشنهادات
72	نتیجه گیری
73	پیشنهادهات
74	مراجع
77	چکیده انگلیسی

فهرست جدول ها

صفحه	فهرست جدول ها
19	جدول 1-2- ترکیب شیمیایی آلیاژها
62	جدول 1-4- داده های الکتروشیمیایی آلیاژهای AZC
66	جدول 2-4- نتایج آزمایش SSRT برای آلیاژهای AZ80 و ZE41 و qe22 و ev31a
68	جدول 3-4- اندیس های Iscc برای آلیاژهای AZ80 ZE41 QE22
68	EV31A آزمایش شده در نرخ کرنش 10^6 S^{-1}
	جدول 4-4-: اندیس های ISCC برای آلیاژهای AZ80 ، ZE41 ، QEZZ و EV31A
69	آزمایش شده در نرخ کرنش

فهرست شکل‌ها

صفحه

فهرست شکل‌ها

- شکل 1-2 - خواص کششی آلیاژها در دمای محیط (الف) $AZ91-XRE$ (ب) $Mg-6Al-XRE$ 7
- شکل 2-2 - خواص کششی آلیاژها در دمای $150^{\circ}C$ (الف) $AZX - XRE$ 9
- شکل 2-3 - تغییرات استحکام تسلیم به ازای مقادیر مختلف RE در دمای اتاق و دمای $140^{\circ}C$ 10
- شکل 2-4 - تغییرات استحکام کششی به ازای مقادیر مختلف RE در دمای اتاق و دمای $190^{\circ}C$ 11
- شکل 2-5 - تغییرات درصد ازدیاد طول نسبی به ازای مقادیر مختلف RE در دمای اتاق و دمای $190^{\circ}C$ 12
- شکل 2-6 - خواص استحکامی آلیاژهای $AZCR$ در دمای محیط 13
- شکل 2-7 - خواص کششی آلیاژ ریختگی $ZA84$ و آلیاژهای $ZA84$ حاوی RE در دمای اتاق 14
- شکل 2-8 - خواص کششی ریختگی پیر شده $ZA84$ و آلیاژهای $ZA84$ حاوی RE در دمای اتاق 14
- شکل 2-9 - خواص کششی ریختگی $ZA84$ و آلیاژهای $ZA84$ حاوی RE در دمای $150^{\circ}C$ 15
- شکل 2-10 - خواص کششی پیر شده $ZA84$ و آلیاژهای $ZA84$ حاوی RE در دمای $150^{\circ}C$ 16
- شکل 2-11 - تصویر SEM و نتایج EDX آلیاژ $ZA84 - 1.5RE$ برای فاز C 17
- شکل 2-12 - خواص مکانیکی آلیاژ $MY - 4Li - 6Zn - 1.0RE$ (الف) استحکام (ب) ازدیاد طول 18
- شکل 2-13 - ریز ساختار آلیاژهای ریختگی (الف) ریز ساختار آلیاژ $Mg-ce-Zn-Zr$ 19

- ب) ریزساختار آلیاژ $Mg-Nd-Zn-Zr$ (ج) ریز ساختار آلیاژ $Mg-y-Nd-Zn-Zr$
- 20 شکل 14-2- استحکام کششی در دمای اتاق
- 21
- شکل 15-2- الف) زیرساختار آلیاژ $MY - CE - ZN - ZR$ اکستروود شده ب) اکستروود و عملیات T_2 شده (OM) ج) اکستروود و عملیات T_2 شده (SEM) د) پراکندگی عنصر سریم (Ce)
- 22 شکل 16-2- استحکام کششی در دمای بالا
- 23 شکل 17-2- سختی آلیاژهای $Mg - 6Al - xRE$
- 24 شکل (18-2): میکرو سختی آلیاژهای پایه $Mg - Al$
- 25 شکل 19-2- سختی (HB) نمونه‌ها به ازای درصد وزنی عناصر کمیاب خاکی (RE)
- 25 شکل 20-2- میکرو سختی ($HV250gf$) فاز یوتکتیک به ازای درصد وزنی عناصر کمیاب خاکی (RE)
- 26 شکل 21-2- تصویر میکروسکوپ نوری آلیاژ $AZ91 + ZRG$
- 26 شکل 22-2- میکروسختی آلیاژ پایه $ZA84$ و آلیاژهای $ZA84$ حاوی RE
- 27 شکل 23-2- میکروسختی آلیاژ پایه $ZA84$ و آلیاژهای $ZA42 - XRE$ به ازای زمن پیرسختی
- 28 شکل 24-2- تشکیل پله در خلال (a) تورقی شدن ثانویه (b) پاره شدن
- 28 شکل 25-2- طرحواره شکست شبه تورقی
- 29
- شکل 26-2- تصاویر SEM الف) آلیاژ $AZ91$ تست شده در دمای محیط ب) $AZ91 - 1RE$ تست شده در دمای محیط ج) $AZ91 - ZRE$ تست شده در دمای $150^\circ C$ د) $Mg - 6AL$ تست شده در دمای محیط ر) $Mg - 6AL - 1RE$ تست شده در دما محیط ز) $MG - 4AL - 2RE$ تست شده در دمای $150^\circ C$.
- 32 شکل 28-2- مورفولوژی شکست مقطع طولی سطح شکت $Mg - 6Al$
- 33 شکل 29-2- سطح شکست الف) $ZA84$ در دمای اتاق ب) $ZA84-1.5RE$ ج) $ZA84-1.5RE$

- 34 شکل 30-2- تصاویر SEM سطوح شکست الف) آلیاژ $Mg-Ce-Zn-Zr$ ب) آلیاژ $Mg-Nd-Zn-$ (ج) آلیاژ $Mg-Y-Nd-Zn-Zr$ د) ریز ساختار سطح شکست $Mg-Ce-Zn-Zr$ (ر) ریز ساختار سطح شکست $Mg-Nd-Zn-Zr$ (ز) ریز ساختار $Mg-Nd-Y-Zn-Zr$
- 36 شکل 1-3- نمودارهای سرد شدن آلیاژهای $Mg-9Al-Zn-RE$
- 37 شکل 2-3- تأثیر مقادیر RE بر روی دمای اتمام انجماد آلیاژ $Mg-9Al$
- 38 شکل 3-3- تأثیر مقادیر RE , Zn بر روی دمای اتمام انجماد آلیاژ $Mg-9Al$
- 39 شکل 4-3- سیالیت آلیاژ $AZ91 + 1RE$
- 39 شکل 5-3- سیالیت آلیاژ $AZ91 + 2RE$
- 40 شکل 6-3- سیالیت آلیاژ $AZ91 + 3RE$
- 42 شکل 7-3- تأثیر دمای ریختن بر روی سیالیت آلیاژ $AZ91 + 3RE$ منیزیم
- 43 شکل 8-3- تأثیر دمای قالب بر روی سیالیت آلیاژ $AZ91 + 1RE$
- 44 شکل 9-3- تأثیر مقادیر RE بر روی سیالیت آلیاژ $AZ91$
- 44 شکل 10-3- تأثیر مقادیر RE بر روی سیالیت آلیاژ $AZ91$
- 45 شکل 11-3- تأثیر RE بر روی ریزساختار آلیاژ $AZ91$ از نمونه‌های سیالیت با ضخامت 4mm الف) $AZ91$
- 47 شکل 12-3- تغییرات درجه ترک گرم به ازای افزودن RE در آلیاژهای $Mg-Al$
- 48 شکل 13-3- شکست نگاری ترک گرم آلیاژهای الف) $AZ91 + 1.2\%RE$ ج) $AM60$ د) $AM31 + 1.2\%RE$ ز) $AZ91$ ح) $AZ91 + 1.2\%RE$
- 49 شکل 14-3- اندازه دانه به ازای مقادیر RE در آلیاژهای $Mg-Al$
- 49 شکل 15-3- ساختار دانه آلیاژهای ب)
- 51 شکل 16-3- دمای واکنش یوتکتیک به ازای مقادیر مختلف RE برای آلیاژهای $AM60$ و $AZ91$

شکل 17-3- الف) تصویر SEM و ب) طیف، شکست ترک گرم آلیاژهای $Mg-Al$ با 52
 $1.2\%RE$

شکل 1-4- الف) Mg (ب) $AZ31$ ج) Mg یا $La\ 0.3\%$ (د) Mg با $La\ 0.6\%$ بعد 55
از $5h$ غوطه‌وری در آب نمک

56

شکل 2-4- تغییر وزن منیزیم حاوی لانتانیم در آب نمک

57

شکل 3-4- تغییر وزن منیزیم حاوی ND در آب نمک

شکل 4-4- تغییر وزن منیزیم حاوی CE در آب نمک 57

شکل 5-4- تغییر در نمودار پلاریزاسیون با افزودن La به منیزیم 58

شکل 6-4- نرخ کاهش وزن خوردگی آلیاژهای AZR 60

شکل 7-4- تصاویر SEM مورفولوژی سطح خوردگی الف) $AZ91$ (ب) $AZ91D$ د) 61
 $AZR1$ (ر) $AZR1.5$ (د) $AZCR11$

شکل 8-4- نمودارهای پلاریزاسیون آلیاژهای AZR 62

شکل 9-4- دیاگرام‌های پلاریزاسیون دو تا از آلیاژهای $Mg-RE$ در محلول $NACL$ 63

شکل 10-4- مقایسه تغییر مقادیر هیدروژن بعد از $100\ h$ غوطه‌وری در محلول $NACL$ 64
3% برای بعضی از آلیاژهای $Mg-RE$

چکیده

در دهه گذشته اثر مثبت افزودن عناصر کمیاب خاکی بر روی خواص مکانیکی آلیاژهای منیزیم مشخص گردیده است، همچنین عناصر کمیاب خاکی با بهبود سیالیت و مقاومت ترک گرم نقش تعیین کننده ای در بهبود قابلیت ریخته گری آلیاژهای منیزیم ایفا می کنند، اگر چه عمده آلیاژهای منیزیم در محیط مرطوب تحت خوردگی شدید قرار می گیرند، افزودن عناصر کمیاب خاکی یک بهبود نسبی در مقاومت خوردگی این آلیاژها ایجاد می نماید.

مقدمه :

در سال‌های اخیر، با توجه به ضرورت کاهش مصرف انرژی و کاهش آلودگی هوا رویکرد جهانی به سمت مسئله سبک‌سازی در صنایع ماشینی گرایش پیدا کرده است. اصولاً مسئله سبک‌سازی در صنایع الکترونیک، ارتباطات و هوافضا، مهندسان را وادار نمود تا به انتخاب خلاقانه مواد دست بزنند. از این حیث فلز منیزیم، به عنوان سبک‌ترین فلز ساختمانی که $\frac{2}{3}$ دانسیته آلومینیوم و $\frac{1}{4}$ دانسیته آهن را دارد در کانون توجهات قرار گرفته است. آلیاژهای منیزیم با ترکیبی خوبی از خواص نظیر: 1- دانسیته پایین 2- استحکام ویژه بالا 3- قابلیت ریخته‌گری خوب 4- مقاومت خوردگی مناسب و قابلیت بازیافت کاندیدای مناسبی برای استفاده در صنایع می‌باشند، رشد و افزایش در مصرف آلیاژهای منیزیم، با افزایش کاربرد در صنایع اتومبیل همراه بوده است. آلیاژهای متداولی که در صنایع اتومبیل استفاده می‌شوند، آلیاژهایی هستند که استحکام و داکتیلیتی بالایی در دمای اتاق دارند. و کاربردهایی نظیر پوسته جعبه دنده، پدال ترمز، پوسته کلاچ دارند. علیرغم داشتن خواص مطلوب آلیاژهایی نظیر *AZ91* , *AM60* چالشی که فراوری این آلیاژهاست، کاربرد در قطعاتی است که در دمای بالا کار می‌کنند. این آلیاژها با وجود این که بهترین ترکیب از خواص مکانیکی، مقاومت خوردگی و قابلیت ریخته‌گری را دارند، ولی در دماهای بالای 120°C مقاومت خزشی پایینی از خود نشان می‌دهند. این ضعف بزرگ استفاده از آنها را در سیستم انتقال قدرت با مشکل مواجه کرده است.

استحکام ضعیف خزشی آلیاژهای منیزیم در این اجزاء باعث سست شدن اتصالات پیچی گشته و منجر به نشت روغن و یا افزایش صدا و ارتعاش در سیستم انتقال قدرت می‌گردد. بنابراین مقاومت خزشی و خواص مکانیکی خوب یک الزام برای استفاده از آلیاژهای منیزیم در اجزاء سیستم انتقال نیرو می‌باشد، که در حال حاضر این قطعات از آلومینیوم و چدن ساخته می‌شوند.

از سال 1930 مشخص شد که عناصر کمیاب خاکی (*RE*) مقاومت خزشی آلیاژهای منیزیم را توسعه می‌دهند. استفاده از عناصر کمیاب خاکی (*RE*) بخاطر پایداری ضعیف حرارتی آلیاژهای منیزیم در

دماهای بالا می‌باشد. عناصر کمیاب خاکی هم به طریق استحکام دهی محلول جامد و هم رسوب سختی به افزایش استحکام آلیاژهای منیزیم کمک می‌کنند. با وجود این به علت گران بودن قیمت عناصر کمیاب خاکی (RE) استفاده گسترده از آلیاژهای منیزیم حاوی این عناصر مقرون به صرفه نمی‌باشد. در این اثر به بررسی خواص مکانیکی، مقاومت خزشی، قابلیت ریخته‌گری و مقاومت خوردگی تعدادی از آلیاژهای منیزیم حاوی عناصر کمیاب خاکی (RE) می‌پردازیم و نقش این عناصر را در بهبود این خواص مورد توجه قرار می‌دهیم.

فصل اول

کلیات

هدف و پیشینه تحقیق :

فلز منیزیم، به عنوان سبک‌ترین فلز ساختمانی که $\frac{2}{3}$ دانسیته آلومینیوم و $\frac{1}{4}$ دانسیته آهن را دارد در کانون توجهات قرار گرفته است. آلیاژهای منیزیم با ترکیبی خوبی از خواص نظیر: 1- دانسیته پایین 2- استحکام ویژه بالا 3- قابلیت ریخته‌گری خوب 4- مقاومت خوردگی مناسب و قابلیت بازیافت کاندیدای مناسبی برای استفاده در صنایع می‌باشند، رشد و افزایش در مصرف آلیاژهای منیزیم، با افزایش کاربرد در صنایع اتومبیل همراه بوده است. آلیاژهای متداولی که در صنایع اتومبیل استفاده می‌شوند، آلیاژهایی هستند که استحکام و داکتیلیتی بالایی در دمای اتاق دارند. و کاربردهایی نظیر پوسته جعبه دنده، پدال ترمز، پوسته کلاچ دارند. این آلیاژها با وجود این که بهترین ترکیب از خواص مکانیکی، مقاومت خوردگی و قابلیت ریخته‌گری را دارند، ولی در دماهای بالای 120°C مقاومت خزشی پایینی از خود نشان می‌دهند. این ضعف بزرگ استفاده از آنها را در سیستم انتقال قدرت با مشکل مواجه کرده است. استحکام ضعیف خزشی آلیاژهای منیزیم در این اجزاء باعث سست شدن اتصالات پیچی گشته و منجر به نشت روغن و یا افزایش صدا و ارتعاش در سیستم انتقال قدرت می‌گردد. بنابراین مقاومت خزشی و خواص مکانیکی خوب یک الزام برای استفاده از آلیاژهای منیزیم در اجزاء سیستم انتقال نیرو می‌باشد، که در حال حاضر این قطعات از آلومینیوم و چدن ساخته می‌شوند. از سال 1930 مشخص شد که عناصر کمیاب خاکی (RE) مقاومت خزشی آلیاژهای منیزیم را توسعه می‌دهند. استفاده از عناصر کمیاب خاکی (RE) بخاطر پایداری ضعیف حرارتی آلیاژهای منیزیم در دماهای بالا می‌باشد. عناصر کمیاب خاکی هم به طریق استحکام دهی محلول جامد و هم رسوب سختی به افزایش استحکام آلیاژهای منیزیم کمک می‌کنند. با وجود این به علت گران بودن قیمت عناصر کمیاب خاکی (RE) استفاده گسترده از آلیاژهای منیزیم حاوی این عناصر مقرون به صرفه نمی‌باشد. در این اثر به بررسی خواص مکانیکی، مقاومت خزشی، قابلیت ریخته‌گری و مقاومت خوردگی تعدادی از آلیاژهای منیزیم حاوی عناصر کمیاب خاکی (RE) می‌پردازیم و نقش این عناصر را در بهبود این خواص مورد توجه قرار می‌دهیم.