بهبود پارامترهای ریخته‌گری ماسه‌ای آلیاژهای منیزیم سری AZ کلاس هوایی

حمید ایزدی[۱] محمد قادری[۲] علیرضا روستایی[۳] محمد قاسمی[۴]
۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد، صنایع هواپیماسازی ایران- هسا eizadihamid@yahoo.com
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
۳- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، صنایع هواپیماسازی ایران- هسا
۴- کارشناس مهندسی مواد، صنایع هواپیماسازی ایران- هسا

چکیده

در این تحقیق به بررسی پارامترهای مناسب در ریخته‌گری ماسه‌ای قطعات آلیاژ منیزیم پرداخته شده است. آلیاژهای منیزیم به دلیل میل ترکیبی بالا به واکنش با اکسیژن و رطوبت در صورت عدم حفاظت مذاب نه تنها قطعات ریخته گری معیوب می شوند بلکه ریخته گری آن می تواند منجر به اشتعال و انفجار شود. در این تحقیق به بیان نحوه کاربرد ممانعت کننده در مواد قالب گیری و محافظت مذاب منیزیم پرداخته شده است. از مخلوط پودر شده سولفور و اسید بوریک (HBO_3) بعنوان ممانعت کننده مخلوط قالب گیری استفاده نمودیم. بهترین اثر ممانعت کنندگی در استفاده از ممانعت کننده‌های ترکیبی دیده شده است. برای آلیاژهای منیزیم سری AZ استفاده از NA_2SiF_6 بهترین تاثیر را دارد. برای کاهش هزینه استفاده از ٪۵۰HBO_3-٪۵۰KBF_4 توصیه می‌شود. همچنین برای حفاظت ذوب آلیاژهای منیزیم در مقابل سوختن (شعله ور شدن)، اکسید شدن و حذف ناخالصیها از محافظت کننده های پودری (فلاکس) و یا بدون فلاکس (گازی) استفاده می شود. نوع فلاکس حاوی ترکیبات نمکی و اکسیدی و بدون فلاکس حاوی گازهای SF_6 و CO_2 می باشد. عمومی ترین گازی که در ذوب بدون فلاکس بکار می رود SF_6 مخلوط شده با هوای خشک و مقداری CO_2 می باشد. برای حفاظت مذاب در دمای ۶۵۰ تا ۷۰۵°C از حفاظت کننده گازی با ترکیب هوا به همراه ۴/. درصد SF_6 و در صورتیکه دمای مذاب ۷۰۵ تا ۷۶۰°C باشد از ۵۰٪ هوا بعلاوه ۵۰٪ CO_2 بعلاوه SF_6 ۳/.٪استفاده می کنیم. دمای مذاب ریزی بستگی به ضخامت قطعه دارد و با کاهش ضخامت ، دمای بارریزی افزایش می یابد. محدوده دمایی ۶۵۰ تا ۷۶۰°C برای ذوب ریزی آلیاژهای منیزیم سری AZ توصیه می شود. یکی دیگر از عوامل مهم تشکیل اکسید و ایجاد مک های هوا در مذاب منیزیم، جریان گردابی (اغتشاشی) مذاب حین مذاب ریزی می باشد که بمنظور جلوگیری از این عیب از سیستم راهگاهی غیر فشاری استفاده می شود.

کلمات کلیدی: آلیاژهای منیزیم، حفاظت مذاب، ممانعت کننده قالب، AZ91C، ریخته‌گری ماسه‌ای.

۱- مقدمه

ریخته‌گری ماسه ای یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تولید قطعات فلزی می‌باشد. در قرن گذشته فرآیند تولید ریخته‌گری ماسه‌ای به سرعت گسترش یافت و بیشتر فلزات تجاری برای کاربردهای گوناگون و نیز تولید قطعات حجیم از جنس آلومینیم، آلیاژهای چدن تا قطعات کم حجم نسبتاً پیچیده در یک محدوده گسترده آلیاژها از این روش تولید می‌شود[۱]. قطعات ریخته گری منیزیم به دلیل سبکی وزن که مهمترین مزیت آنها است کاربردهایی مانند اجزاء هواپیما، سفینه، کاربرد های نظامی و دفاعی، پوسته های الکتریکی دارند. آلیاژهای منیزیم با دانسیته ۱/۷ gr/cm^3 در مقایسه با آلیاژ آلومینیم با دانسیته ۲/۷ gr/cm^3 حدود یک سوم سبک تر می باشند و در مقایسه با فولاد حدود یک چهارم سبک تراست. بنابراین استفاده از آلیاژهای منیزیم مصرف سوخت را کاهش و مصرف انرژی را بهینه می کند. آلیاژهای سری AZ حاوی عنصر آلیاژی اصلی آلومینیم به همراه روی و به مقدار جزیی منگنز می باشد. استفاده از آلیاژهای با خلوص بالا با مقادیر پایین Ni, Fe و Cu مقاومت به خوردگی را بهبود داده است. روش ریخته گری قالب فلزی و روش ریخته گری ماسه ای (کمترین ضخامت ۵ میلیمتر) برای ریخته گری قطعاتی که تحت تنش هستند به کار می رود. و از روش دایکاست به منظور تولید قطعات با ضخامت کمتر نیز استفاده می شود.

از جمله دلایل کاربرد آلیاژهای منیزیم به عنوان پوسته گیربکس و مخزن روغن در هواپیما و بالگرد علاوه بر کاهش وزن ، خاصیت میرایی[۱] آن می‌باشد زیرا گیربکس ها تحت لرزش می باشند. از آنجایی که آلیاژهای منیزیم به سرعت استفاده صنعتی پیدا کرده است، بهبود پارامترهای تولید ریخته‌گری ماسه‌ای برای تولید آلیاژهای آن نیاز می‌شود. اصول ریخته‌گری ماسه‌ای آلیاژهای منیزیم تفاوت عمده‌ای با ریخته‌گری سایر فلزات تجاری دیگر ندارد. لیکن برای تولید قطعات ریختگی با کیفیت هوایی، نیاز است بعضی اختلافات مهم در خواص فیزیکی منیزیم و دیگر فلزات عمومی ارزیابی شود [۹]. تفاوت اصلی ریخته‌گری ماسه‌ای آلیاژهای منیزیم با دیگر آلیاژها را در واکنش‌پذیری مواد قالب نظیر سیلیکا و بلاخص رطوبت با مذاب منیزیم می‌توان بیان نمود. به طور کلی رطوبت و سیلیکا موجود در مواد قالب به سهولت تشکلیل اکسیدهای منیزیم در دمای بالا را می‌دهد و این باعث کاهش کیفیت قطعه ریختگی و ایجاد ریز حفرات زیر پوستی می شود. استفاده از ممانعت کننده‌ها و به‌حداقل رساندن رطوبت قالب برای جلوگیری از واکنش بین قالب و فلز توصیه شده است[۲]. واکنش تشکیل اکسید منیزیم بعلت حضور رطوبت و سیلیکا مواد قالب بترتیب در رابطه ۱و۲ آورده شده است.

$$Mg+H_2O \rightarrow MgO+H_2 \qquad (1)$$

۱-Damping

$$2Mg+SiO_2 \rightarrow Si+2MgO \quad (۲)$$

از دیگر تفاوت‌های ریخته‌گری ماسه‌ای آلیاژ منیزیم می‌توان به چگالی نسبتاً کم منیزیم نسبت به فلزات ریختگی تجاری اشاره کرد. بنابراین در ریخته‌گری ثقلی ساده، فشار متالواستاتیکی نسبتاً کمی برای پر کردن قالب وجود دارد . قالب‌ها ی ماسه ای باید نفوذ پذیری بالایی داشته ویا برای مقاطع نازک از کنترولرها هوا استفاده شود تا به جریان مذاب کمک و از خطر نیامد یا ورود گاز از قالب به مذاب جلوگیری کند. در این پژوهش سعی بر آن شده است که با استفاده از بازدارنده‌ها و محافظت کننده های مناسب در مواد قالبگیری و در مذاب، اصلاح سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری و شناسایی و دسته بندی عیوب احتمالی در قطعات ریختگی آلیاژهای منیزیم به خصوص سری AZ، به بهبود کیفیت تولید کمک شود. آلیاژ AZ91C یکی از آلیاژهای عمومی است که کاربرد زیادی در صنایع هوایی دارد، از جمله خصوصیات این آلیاژسیالیت بالا و کاربرد تا دمای ۱۲۰°C می باشد. و به روش ریخته گری ماسه CO_2 کیفیت خوبی حاصل می شود. لذا استفاده از ممانعت کننده در ترکیب مواد قالبگیری ضروری و حفاظت مذاب تحت گاز خنثی و یا فلاکس الزامی است

۲- بدنه اصلی

۲-۱- ترکیب مواد قالب

سیستم‌های ماسه‌ای معمولاً شامل ماسه، چسب و یک ممانعت کننده مناسب برای جلوگیری از واکنش منیزیم می‌باشد. چسبی که برای ماسه تر استفاده می‌شود عمدتاً بنتونیت می باشد که از گل رس طبیعی ساخته می‌شود. بنتونیت همراه با آب درجه قابل قبولی از کاربری را ایجاد می‌کند. به دلیل مقدار آب زیاد در مخلوط ماسه تر نیاز به ممانعت کننده خیلی موثر می باشد. البته بهتر است از روش ماسه CO_2 برای ریخته گری ماسه ای منیزیم استفاده شود که به دلیل وجود چسب مصنوعی سیلیکات سدیم(آب شیشه)حاوی رطوبت کمتری می باشد. به طور تجاری مخلوط پودر شده سولفور و اسید بوریک(HBO3) را به عنوان ممانعت کننده استفاده می کنند. به‌طور کلی یک مخلوط ماسه مناسب برای ریخته‌گری آلیاژهای منیزیم شامل ۴٪ بنتونیت، ۵٪ سولفور، ۱٪ اسید بوریک، ۴٪ آب و مابقی ماسه می باشد. در هنگام باراریزی گوگرد موجود به سرعت واکنش می‌دهد و SO_2 تولید می‌کند و باعث ممانعت کنندگی می‌شود. مقدار گوگرد می‌تواند در قسمت‌های از قالب که در تماس مستقیم با منیزیم نیست، کاهش یابد[۹]. با اضافه کردن ممانعت کننده‌های دیگر نظیر پتاسیم، فلوئور و بورایت (KBF_4) اثر بازدارندگی گوگرد در قالب حذف می‌شود. گزارشات اخیر نشان می‌دهد استفاده از پتاسیم در ریخته گری ماسه‌ای آلیاژهای منیزیم برای تولید انبوه تاثیرات ممانعت کنندگی بهتری نسبت به گوگرد دارد و استفاده از سیستم ماسه تر با چنین مخلوطی به سادگی استفاده می‌شود اما قیمت آنها نسبت به گوگرد زیاد می‌باشد[۳و۴]. عمده ترکیبات ممانعت کننده برای ریخته‌گری قطعات منیزیم در جدول ۱ آورده شده است. ساده‌ترین و ارزن‌ترین ممانعت کننده در مواد قالب ریخته‌گری آلیاژ منیزیم گوگرد می‌باشد درحالی‌که کمترین تاثیرات ممانعت کنندگی را دارد. KBF_4 راندمان ممانعت کننده بالایی دارد ولی باعث اسیدی شدن مواد قالب به علت تشکیل هیدروفلوریدریک اسید می‌شود. استفاده از مواد ترکیبی برای ممانعت کنندگی باعث کاهش قیمت و نیز کاهش اثرات مضر ممانعت کننده‌ها می‌شود به عنوان مثال ترکیب ٪۷۵K_2SiF_6-٪۲۵S منجر به کاهش هزینه و افزایش راندمان مواد قالب می‌شود.

جدول (۱): ممانعت کننده‌های افزودنی به مواد قالب

ممانعت کننده	میزان(٪)	توضیح
گوگرد	۱-۲	خیلی موثر- تولید گاز SO_2
KBF_4	۱-۲	موثر- تولید F یا HF
٪۵۰KBF_4-٪۵۰HBO_3	۲	کاهش تولید F نسبت به KBF_4
K_2SiF_6	۱-۲	تاثیرات کمتر نسبت به KBF_4
٪۷۵K_2SiF_6-٪۲۵S	۱-۲	نسبت به KBF_4 خیلی موثرتر است درصورتی که تولید SO_2 مجاز باشد
NA_2SiF_6	۱-۲	مشابه K_2SiF_6- تنها برای آلیاژ منیزیم مناسب است

شستن، خشک کردن و درجه‌بندی اندازه ذرات سیلیکا عمدتاً برای قالب ماسه‌ای منیزیم از اهمیت زیادی برخوردار است. مش الک از گریدهای بین 50AFS تا 100AFS می‌باشد. برای استفاده‌های معمول با گرید 60AFS میزان نفوذپذیری رضایت بخشی بدست می‌آید. برای سطوح ظریف می‌توان از گرید 80-90AFS استفاده نمود، اما نفوذ پذیری بشدت افت می‌کند. همچنین ماسه زیرکن و کرومیت با سیستم با چسب شیمیایی مناسب می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در مورد آلیاژهای منیزیم از این ماسه‌ها به عنوان ماسه پوششی اولیه در مقاطع ضخیم‌تر ریخته‌گری اگر به تبرید بیشتر نیاز داشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین می‌توان از ماسه‌های الیون نیز استفاده کرد.

۲-۲- ذوب و محافظت کننده های آن

عملیات ذوب آلیاژهای منیزیم به دلیل سوختن و اکسیداسیون باید تحت محافظت انجام شود. محافظت به دو روش تحت فلاکس (پودر جامد)و یا بدون فلاکس (گاز) انجام می شود.

۲-۲-۱- ذوب با محافظت فلاکس

آلیاژهای منیزیم باید تحت فلاکس های پوششی (Covering)و تمیزکننده (Cleansing) برای جلوگیری از اکسیداسیون و حذف آخالها ذوب شوند.انواع محافظت کننده های مذاب از نوع پودر جامد که برای پوشش مذاب حین ذوب، نگهداری و حین مذاب ریزی بکار برده می شود در جدول ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول (۲): ترکیب شیمیایی محافظت کننده مذاب(فلاکس) حاوی انواع نمک

ممانعت کننده	میزان(٪)
$CaCl_2$	41
$NaCl$	26
KCl	9
MgF_2	24

جدول (۳): ترکیب شیمیایی محافظت کننده مذاب(فلاکس) حاوی اکسید و نمک

ممانعت کننده	میزان(٪)
MgO	15
CaF_2	15
KCl	20
$MgCl_2$	50

همچنین فلاکس مگرس ۶۰ (MAGREX 60)نیز بعنوان فلاکس پوششی و تمیز کننده بکار می رود. فلاکس ها عموما یک پوشش سطحی مایع حین ذوب شدن منیزیم ایجاد می کنند که از تماس مذاب با هوا جلوگیری می کند. بطوریکه از سرباره شدن، اکسید شدن و سوختن مذاب جلوگیری می کند. همچنین با خاصیت تمیزکنندگی جاروبی مذاب به حذف ناخالصی های غیرفلزی کمک می کند. به مقدار تقریبا ۱٪ کل شارژ از پودر فلاکس در کف بوته فولادی گرم شده می ریزیم سپس شمش و قراضه را درون بوته قرار می دهیم. و با تشکیل مذاب منیزیم در دمای حدود ۷۵۰ درجه سانتیگراد، حرارت را متوقف می کنند. سپس به مقدار ۲٪ دیگر از فلاکس به سطح مذاب اضافه می کنند که حالت کف مانند می شود و با جذب اکسیدها و ناخالصیها، مقداری فلاکس ته نشین می شود. قبل از ذوب ریزی سطح مذاب کف گیری می شود و بلافاصله برای جلوگیری از سوختن، شعله ور شدن و اکسیداسیون حین مذاب ریزی پودر گوگرد به جریان مذاب اضافه می کنند. دقت شود هیچگونه سرباره و لجن در انتهای ذوب ریزی از کف بوته وارد قالب نشود.

۲-۲-۲- ذوب بدون فلاکس

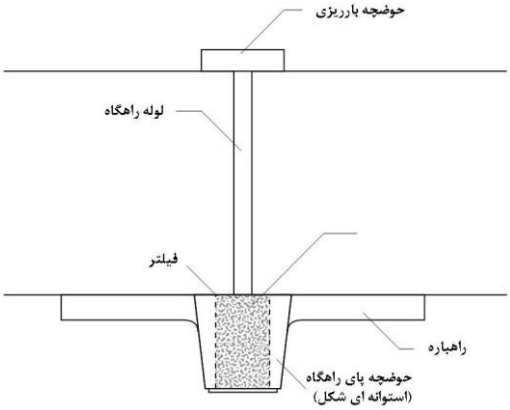
روش دیگر حفاظت ذوب آلیاژهای منیزیم با استفاده از گازهای خنثی مانند آرگون و یا هگزافلوراید سولفور (SF_6) می باشد. SF_6 یک گاز بی رنگ و بدون بو و در غلظت های کم (کمتر از ۰/۸ درصد) سمی نمی باشد. SF_6 مانند گازهای دیگر حاوی فلوئور، گازهای گلخانه ای محسوب می شود و برای اتمسفر مضر می باشد و استفاده از آنها باید کمترین مقدار باشد. عمومی ترین گازی که در ذوب بدون فلاکس بکار می رود SF_6 مخلوط شده با هوای خشک و مقداری CO_2 می باشد. از روش بدون فلاکس بیشتر در ریخته گری دایکاست به دلیل قابلیت بهتر مکانیزه شدن استفاده می شود. جدول ۴ ترکیب مورد مصرف گازهای فوق را بیان می کند.

جدول (۴) ترکیب محافظت کننده بدون فلاکس(گاز)

حفاظت ذوب	اتمسفر سفارش شده روی مذاب (%حجمی)	دمای ذوب °C
خیلی عالی	هوا+ ۰/۴ درصد SF6	۶۵۰-۷۰۵
خیلی عالی	۷۵ هوا+ ۲/درصد SF6	۶۵۰-۷۰۵
خیلی عالی	۷۵هوا+۲۵CO_2+ ۰/۲ SF6	۶۵۰-۷۰۵
خیلی عالی	۵۰هوا+۵۰CO_2+ ۰/۳ SF6	۷۰۵-۷۶۰
خیلی خوب	۵۰هوا+۵۰CO_2+ ۰/۳ SF6	۷۰۵-۷۶۰

۲-۳- سیستم راهگاهی و تغذیه گذاری

اصلی‌ترین نیاز در تولید قطعه ریختگی منیزیمی با کیفیت خوب این است که از پر شدن قالب با کم‌ترین اغتشاش اطمینان حاصل شود و طراحی سیستم راهگاهی باید به گونه‌ای باشد تا از به دام افتادن اکسیدها و آخال‌ها به داخل قالب جلوگیری کند. لوله راهگاه مستطیلی نسبت به استوانه‌ای به علت جلوگیری از جریان گردابی و ایجاد اغتشاش مذاب مناسب‌تر است. همچنین تا حد ممکن مجاری بارریزی کوتاه در نظر گرفته شود تا از تشکیل اکسیدهای ضخیم جلوگیری شود. لوله راهگاه بهتر است به صورت مخروطی باشد به طوری‌که سطح مقطع بالای راهگاه بیشتر از پایین راهگاه باشد بدین ترتیب تضمین می‌شود که لوله راهگاه حین ریخته گری کاملاً پر می‌ماند و از کشیدن هوا به داخل قالب جلوگیری می‌کند. پای لوله راهگاه نسبت به آلومینیم ریزی بزرگتر در نظر گرفته می شود. حضور حوضچه زیر لوله راهگاه باعث می‌شود هر نوع اکسیدی را از شروع ریختن به دام بیندازد. این حوضچه غالباً شامل یک توری فولادی سوراخ دار عمودی یا پشم آهن می‌باشد. فیلتر می‌تواند داخل سیستم راهگاهی اضافه شود. موثرترین فیلتراز توری فولاد ساده کربنی یا فیلترهای فومی سرامیکی با مش ۱۰-۵ می باشد. فیلترهای سرامیکی باید ZrO_2 یا Al_2O_3 بالایی داشته و به طور کامل زینتر شود تا از واکنش با مذاب منیزیم جلوگیری کند. بارریزی باید به گونه‌ای باشد که مذاب از کف حفره قالب شروع به پرکردن به سمت بالا کند. سیستم بارریزی باید غیر فشار باشد. نسبت سیستم راهگاهی ایده آل ۱-۲-۳ برای ریخته‌گری ماسه‌ای آلیاژهای منیزیم ارائه شده است[۵]. همه راهگاه های اصلی و فرعی باید صاف و تا جای ممکن قوس مناسبی داشته باشد. شکل ۱ شماتیک سیستم راهگاهی ایده‌ال را نشان می‌دهد.



شکل (۱): شماتیک سیستم راهگاهی

آلیاژ AZ91 به صورت تجاری برای همه فرایندهای ریخته‌گری از جمله ریخته‌گری ماسه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آلیاژ محدوده انجماد وسیعی (۱۶۰-۱۱۰°C) دارد (انجماد خمیری). انجماد با تشکیل شاخه‌های دندریتی اتفاق می‌افتد که در نهایت باعث به دام افتادن و انقباض فاز یوتکتیک باقی مانده درون بازوهای دندریتی شده و باعث به وجود آمدن تخلخل‌های ریز می‌شود[۶]. اگر چه سیالیت این آلیاژها عالی است ولی سلامت قطعه بستگی به اصلاح دانه[1] دارد و برای ریز دانه شدن و کاهش تخلخل ها نیاز شدید به مبرد می‌باشد.منیزیم کم‌ترین دانسیته و کمترین ظرفیت گرمایی دربین تمام آلیاژهای ریخته گری تجاری دارد [۶]. این موضوع تاثیر بزرگی بر روی برد تغذیه در انجماد ریختگی دارد. جدول ۵ مشخصات برد مبرد را برای چند نوع از آلیاژهای منیزیم آورده است. دست‌یابی به ساختار بدون تخلخل مشکل می‌باشد و تخلخل‌ها تمایل به متصل شدن به یکدیگر را دارند.

مبردها برای ریخته‌گری آلیاژهای منیزیم معمولاً از جنس آلیاژهای آلومینیم و چدن که بستگی به میزان درجه تبرید مورد نیاز است استفاده می‌شود. مبردهای چدنی بیشترین تاثیرتبرد را دارد. مبردهای مورد استفاده باید

[1] – Grain Refinement

چربی زدایی و سطح تمیز داشته باشند، پوشش داده شوند و قبل از ریخته‌گری پیش گرم شوند. ضخامت مبردها به‌طور معمول کمتر از دو برابر ضخامت مقطع تبریدی (قطعه) می‌باشد.

جدول (۵): مشخصات ریخته‌گری آلیاژهای منیزیم

آلیاژ	ترکیب شیمیایی	فاکتور سیالیت	بدون مبرد (mm)	با مبرد (mm)
AZ91	Mg-9%Al 1%Zn-Mn	۱	۶۰	۱۵۰
EZ33	Mg-3%RE-2.6%Zn-Zr	-	۱۵۰	۲۰۰
ZE41	Mg-4.2%Zn-1.3%RE-Zr	۰/۸	۱۰۰	۱۵۰
QE22	Mg-2.5%Ag-2%RE-Zr	۰/۷	۷۵	۱۲۵
WE43	Mg-4%Y-3%RE-Zr	۱	۱۰۰	۱۵۰

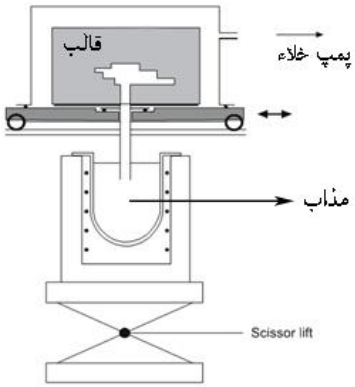
تغذیه‌ها در بهترین حالت ممکن در بالای سر قالب و در تماس با اتمسفر محیط قرار داده می‌شوند تا فشار متالواستاتیک به حداکثر برسد. در چنین حالتی حجم قابل توجهی از مذاب نیاز است که باعث می شود نقاط داغ در داخل قطعه ریختگی ایجاد شود و این ناشی از جریان بیش از حد مذاب داغ می‌باشد. برای خنثی کردن این اثر می‌توان از تغذیه‌ها با ابعاد کوچک‌تر که حاوی ترکیبات سرامیکی-عایق فایبر[1] در اطراف تغذیه استفاده نمود.

۲-۴- تکنیک‌های ریخته‌گری

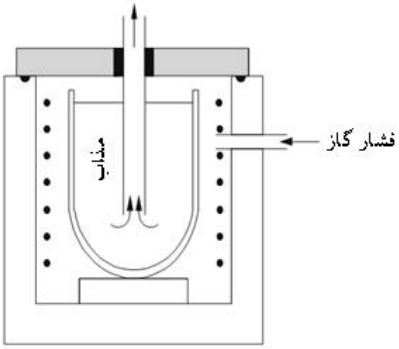
برای جلوگیری از عیوب واکنش منیزیم با رطوبت (رابطه ۱)، پیش گرم کردن قالب در حدود ۱۰۰°C توصیه می‌شود. پیش گرم کردن قالب‌ها باید درون کوره صورت گیرد. گاهی پیش گرم موضعی به وسیله مشعل گازی انجام می شود، که البته دما اگر به اندازه کافی بالا نباشد می تواند موجب بروز رطوبت در اثر احتراق گاز ها شود[۷-۹].حرکت جریان آرام و بدون اغتشاش باعث حذف گازها و اکسیدهای ناخواسته در قطعه ریختگی می‌شود. استفاده از ریخته‌گری با فشار مختلف از جمله راه‌کارهای موثر می‌باشد. سیستم‌های ریخته‌گری ماسه‌ای به صورت کم فشار، خلأ و یا حتی ترکیبی از هر دو گسترش یافته‌اند درشکل های ۲ و ۳ شماتیک دو روش ریخته گری بنام ریخته گری فشار مختلف (Vacuum Casting) و ریخته گری اختلاف دمشی (Low pressure) نمایش داده شده است. نتیجه اصلی هر دو تکنولوژی این است که یک اختلاف فشار بین سطح مذاب در درون قالب موجب حرکت جریان آرام و بدون اغتشاش مذاب از کف قالب می گردد و از به تله افتادن هوا جلوگیری می کند. قابلیت تغذیه کردن مذاب از کف قالب باعث حداقل کردن ابعاد و راهگاه فرعی ورودی می‌شود این سیستم‌های راهگاهی اجازه می‌دهد جبهه انجماد از بالای قالب به طرف پایین آنجایی که مذاب داغ شارژ می‌شود انجام شود. با این روش، تغذیه‌گذاری و عملیات همگن سازی کمتری نیاز است. همچنین این روش نسبت کل وزن ریخته شده را به وزن قطعه کاهش می‌دهد و باعث صرفه جویی بیشتری می‌شود(شکل ۴).نهایتا کیفیت قطعه ریختگی بهبود می‌یابد. در شکل ۲ ، محفظه قالب توسط پمپ، خلاء نسبی شده و مذاب از کف درون محفظه قالب جریان می‌یابد. بسته به نسبت خلاء سرعت پرکردن قالب تغییر می‌یابد.در شکل ۳ با اعمال گاز خنثی بر مذاب درون بوته موجب حرکت مذاب از کف به درون قالب می شود. پوشش نسوز محفظه قالب‌ها اغلب به وسیله اسپری انجام می‌شود تا احتمال واکنش مذاب با سطح قالب حداقل شود. برای آلیاژهای منیزیم معمولاً اسپری حاوی ممانعت کننده نظیر KBF_4 می‌باشد.قبل از بارریزی، حفره‌های قالب را باگاز ممانعت کننده که باعث کاهش میزان اکسیداسیون می‌شود، پر می‌کنند. این کار اغلب با گاز SO_2 انجام می‌گیرد، اما امروزه از مخلوط گازی ممانعت کننده نظیر CO_2+1-2%SF_6 استفاده می‌شود.

۲-۴- شناسایی و حذف عیوب ریخته‌گری

جدول ۶ انواع عیوب احتمالی برای ریخته‌گری آلیاژهای منیزیم را آورده است. همانطور که مشاهده می‌شود این عیوب می‌تواند در آلیاژ سازی، حین بارریزی وانجماد به وجود آید. رعایت نکات مهم در ریخته‌گری آلیاژهای منیزیم باعث حذف عیوب در قطعات می‌شود.



شکل (۲): ریخته‌گری خلاء



شکل (۳): ریخته‌گری اختلاف دمشی (ریخته‌گری کم فشار)

جدول (۶): انواع عیوب در ریخته‌گری ماسه‌ای آلیاژهای منیزیم

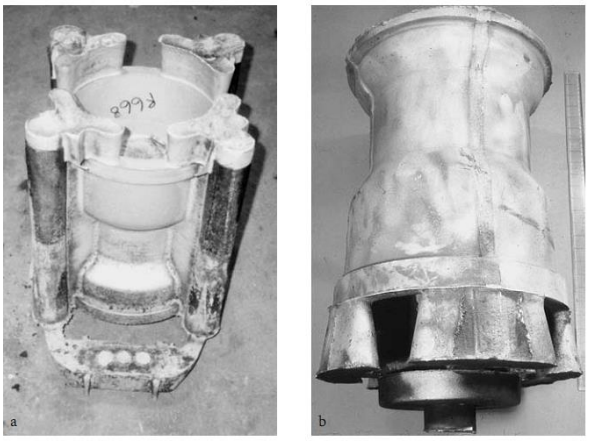
منشاء عیب	نوع عیب
فلز مذاب درون بوته	اکسید، جدایش بین فلزی
در طی بارریزی	پوسته اکسیدی، جدایش بین فلزی، واکنش با ناخالصی ماسه
در حین انجماد	تخلخل، میکروانقباض، ترک گرم

جدول ۷،علت و راه حل های موثر برای کاهش و حذف عیوب ذکر شده آورده شده است.

[1] Fibersleeve

جدول (۷): نوع عیب، علت و راه‌حل جلوگیری

عیب	علت	راه جلوگیری
جدایش ثقلی	ضعف فلز در شرایط عملی، ناکافی بودن فلز آلوده در کف پاتیل در هنگام ذوب‌ریزی	اجتناب از اکسیداسیون
پوسته اکسیدی	کمبود حفاظت در حین بارزیری، اغتشاش جریان مذاب، رطوبت در قالب	اطمینان از حفاظت در حین بارریزی
واکنش با ناخالصی ماسه	کمبود چسب در سطح قالب، ناکافی بودن ممانعت کننده در ماسه	افزایش ممانعت کننده، افزایش چسب در سطح حفره قالب



شکل (۴): تاثیر ریخته‌گری در بهبود کیفیت با روش اختلاف دمشی
الف) ریخته‌گری ماسه‌ای ثقلی ب) ریخته‌گری ماسه‌ای اختلاف دمشی

۳- نتیجه گیری

ریخته‌گری آلیاژهای منیزیم به دلیل اکسیداسیون شدید و تشکیل اکسید منیزیم و ناخالصی از حساسیت بالایی برخوردار است. برای بهبود شرایط ریخته‌گری استفاده از ممانعت کننده ها در مواد قالبگیری و محافظت عملیات ذوب الزامی است. ممانعت کننده‌های مورد استفاده متنوع با راندمان و قیمت خاص می باشد. بهترین اثر ممانعت کنندگی در استفاده از ممانعت کننده‌های ترکیبی دیده شده است. برای آلیاژهای منیزیم سری AZ استفاده از NA_2SiF_6 بهترین تاثیر را دارد. برای کاهش هزینه استفاده از ٪۵۰KBF_4-٪۵۰HBO_3 توصیه می‌شود. همچنین برای حفاظت مذاب آلیاژهای منیزیم در مقابل سوختن (شعله ور شدن)، اکسید شدن و حذف ناخالصیها از محافظت کننده های پودری (فلاکس) و یا بدون فلاکس (گازی) استفاده می شود. نوع فلاکس عموما حاوی ترکیبات نمکی و اکسیدی می باشد. عمومی ترین گازی که در ذوب بدون فلاکس بکار می رود SF_6 مخلوط شده با هوای خشک و مقداری CO_2 می باشد. همچنین از گاز خنثی آرگون که قیمت مناسب تری نسبت به SF_6 دارد استفاده می شود. برای حفاظت مذاب در دمای ۶۵۰ تا ۷۰۵°C از حفاظت کننده گازی با ترکیب هوا به همراه ۴./. درصد SF_6 و در صورتیکه دمای مذاب ۷۰۵ تا ۷۶۰°C باشد از ٪۵۰ هوا بعلاوه ٪۵۰ CO_2 بعلاوه ۳./.٪ SF_6 استفاده می کنیم.

دمای مذاب ریزی بستگی به ضخامت قطعه دارد و با کاهش ضخامت ، دمای باررریزی افزایش می یابد. محدوده دمایی ۶۵۰ تا ۷۶۰ °C برای ذوب ریزی آلیاژهای منیزیم سری AZ به کار می رود. یکی دیگر از عوامل مهم تشکیل اکسید و ایجاد مک های هوا در مذاب منیزیم، جریان گردابی (اغتشاشی)حین مذاب ریزی می باشد که بمنظور جلوگیری از این عیب از سیستم راهگاهی غیر فشاری استفاده می شود.

منابع

[1]- EF. Emley, Principles of Magnesium Technology, 2thPergamon Press Ltd. Oxford. England, 1996, pp.97-115.

[2]- w. Michels, Magnesium Sand Casting-A Flexible Production Process for Complex Parts of High Volume Proc, 10th, Magnesium Automotive and End Users Seminar, 2002.

[3]- F. Mordike, Magnesium Technology, 2th, 2006, pp. 219-233.

[4]– ع. میرک، م. دیواندری، س.م.ع. بوترابی، اثر تلاطم سطحی مذاب بر تشکیل فیلم اکسید در ریخته گری الیاژ منیزیم AZ91، دهمین *کنگره سالانه انجمن مهندسین متالورژی ایران*، (۱۳۸۵)، ۱۰۹-۱۰۱.

[5]- S. Pang, G. Wu, W. Liu, M. sun, W. ding, Effect of cooling rate on the microstructure and mechanical properties of sand-casting Mg–10Gd–3Y–0.5Zr magnesium alloy, *Materials Science and Engineering*, Vol. 562, (2013), 152-160.

[6]- L. Bichler, C. Ravindran, Characterization of fold defects in AZ91D and AE42 magnesium alloy permanent mold castings, *Materials Characterization*, Vol. 61,(2010), 296-304

[7]- B. Chen, Q. Yuang, Constitutive description for casting magnesium alloy involving void evolution, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 20, (2010), 467-470.

[8]- Y.Motoyama, H. Takahashi, K. Shinji, ynamic measurements of the load on castings and the contraction of castings during cooling in sand molds, , *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 213 (2013), 238-244.

[9]- Y. Motoyama, H. Takahashi, K. Shinji,Development of a device for dynamical measurement of the load on casting and the contraction of the casting in a sand mold during cooling, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 212, (2012), 1399-14054.