

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

بررسی عوامل موثر بر توزیع دمای قطعه مستر مولد و

طراحی و بهینه سازی آن

استاد راهنما :

دکتر سید حسین منصور

مؤلف :

بابک نصر

تیرماه ۱۳۸۹

تقدیم به :

تشکر و قدردانی :

با تشکر و سپاس از استاد گرانقدرم جناب آقای پروفیسور منصور منصوری که محبت ها و راهنمایی های بی دریغ ایشان هیچگاه از یاد نخواهد رفت.

همچنین از مدیریت محترم امور تحقیق و توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان که ما را در انجام این پروژه حمایت نموده اند، مراتب تشکر و قدردانی به عمل می آید.

چکیده:

در این تحقیق، شناخت مسئله از طریق جمع آوری اطلاعات و نقشه های مربوطه برای مدل سازی و تجزیه و تحلیل دما و تنش های حرارتی ایجاد شده در مولد و مستر مولد هنگام ریخته گری و سرد شدن صورت گرفته است. سپس بر اساس اطلاعات بدست آمده مدل سازی مستر مولد و مولد انجام گرفت. پس از تهیه مدل، تجزیه و تحلیل دما و تنش های حرارتی ایجاد شده با استفاده از روش های محاسباتی انجام شده است. نتایج نشان می دهد که توزیع دما، گرادیان حرارتی و تنش های حرارتی ناشی از آن بخوبی برای هندسه مسئله قابل محاسبه بوده و بر اساس نحوه توزیع آن ها می توان احتمال ترک خوردگی و شکست مستر مولد را پیش بینی نمود. نهایتاً بر اساس مطالعات انجام شده راه کارهای مناسبی ارائه گردیده است: ۱- پیش گرم یکنواخت مستر مولد از بالا و پائین توسط مشعل ضروری می باشد. ۲- عمل جدا سازی دسته های مستر مولد مورد تأیید می باشد زیرا سبب کاهش گرادیان حرارتی در ناحیه دسته ها شده و دوام آن ها را افزایش میدهد. در ضمن چون دسته ها از حساس ترین قسمت های مستر مولد میباشند حتی در صورت خرابی میتوان آن ها را با هزینه بسیار کمی تعویض نمود. ۳- راه کار دیگر قرار دادن یک صفحه مسی نازک بر روی صفحه آندی مستر مولد می باشد. این ورق به هنگام ریخته گری ذوب شده و با جذب حرارت محلی سبب می شود که شوک حرارتی کمتری به مستر مولد وارد گردد. لذا سبب افزایش عمر مستر مولد خواهد شد. در ضمن هزینه قابل توجهی ندارد. ۴- راه کار آخر بررسی طرح ریخته گری عمودی میباشد. این امر نیز سبب کاهش شوک حرارتی به مستر مولد شده و در نتیجه عمر آن افزایش مییابد. در ضمن استفاده از راه حل های پیشنهادی بصورت همزمان نیز میسر می باشد.

کلید واژه: مستر مولد، آنالیز حرارتی گذرا، تنش حرارتی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - مقدمه
۴	فصل دوم - مروری بر تحقیقات انجام شده
۵	۱-۲- تحقیقات مستقیم
۵	۱-۱-۲- جنس مستر مولد
۱۱	۲-۱-۲- تحقیق صورت گرفته در مجتمع مس سرچشمه
۱۶	۳-۱-۲- فرایند تولید مولد مسی
۲۴	۴-۱-۲- فرایند تولید آند
۳۶	۲-۲- تحقیقات در زمینه مدل سازی و تحلیل
۳۷	۱-۲-۲- مدل رئولوژی [H]-[H N]-[N S]
۴۱	۲-۲-۲- سیستم تلفیقی FDM/FEM
۴۱	۳-۲-۲- مسئله تماس در فرایند ریخته گری
۴۶	فصل سوم - شناسایی سیستم
۴۷	۱-۳- هدف از انجام پروژه
۴۷	۲-۳- شناسایی سیستم
۴۸	۱-۲-۳- شرح فرایند
۴۸	۱-۱-۲-۳- مرحله اول
۴۸	۲-۱-۲-۳- مرحله دوم
۴۹	۳-۱-۲-۳- مرحله سوم

۴۹	۳-۲-۱-۴- مرحله چهارم
۵۱	فصل چهارم- مدل سازی فرایند
۵۲	۴-۱- تهیه و مدل سازی نرم افزاری جهت تجزیه و تحلیل مسئله
۵۲	۴-۲- مدل سازی فرایند
۵۳	۴-۲-۱- انواع آنالیز میدان های کوپله
۵۴	۴-۲-۲- هندسه مسئله
۵۵	۴-۲-۳- مراحل شبیه سازی
۵۷	۴-۲-۴- مدل سازی با در نظر گرفتن دو تکه بودن دسته و مستر مولد
۵۸	۴-۳- روش حل
۵۹	۴-۳-۱- ضریب انتقال حرارت جابه جایی
۶۷	۴-۳-۲- خواص مواد
۶۷	۴-۳-۳- مدل المان محدود
۶۸	۴-۴- انجام مطالعات اصلاحی و ارائه طرح های جایگزین
۶۸	۴-۴-۱- بررسی قرار دادن یک ورق مسی بر روی مستر مولد
۶۹	۴-۴-۲- ریخته گری عمودی
۷۱	۴-۴-۳- ریخته گری افقی با صفحه بالایی
۷۲	فصل پنجم- نتایج
۷۳	۵-۱- نتایج مدل سازی اول
۷۳	۵-۱-۱- ضریب انتقال حرارت معادل ثابت
۷۴	۵-۱-۲- ضریب انتقال حرارت معادل متغیر

۷۶	۳-۱-۵- مقایسه دو حالت ضریب انتقال حرارت معادل ثابت و متغییر
۷۷	۴-۱-۵- توزیع دما در مسترمولد در زمان های مختلف
۷۹	۵-۱-۵- توزیع گرادیان حرارتی
۸۲	۶-۱-۵- توزیع تنش حرارتی
۸۵	۷-۱-۵- توزیع کرنش حرارتی
۸۸	۸-۱-۵- تجزیه و تحلیل نتایج
۹۰	۲-۵- در نظر گرفتن دو تکه بودن دسته و مستر مولد
۹۳	۳-۵- آنالیز به همراه پیش گرم
۹۸	۴-۵- نتایج برای طرح های ارائه شده
۹۸	۱-۴-۵- آنالیز با صفحه مسی
۹۹	۱-۱-۴-۵- بررسی اثر ضخامت ورق مسی
۱۰۲	۲-۴-۵- آنالیز ریخته گری عمودی
۱۰۲	۱-۲-۴-۵- توزیع دما
۱۰۳	۲-۲-۴-۵- توزیع گرادیان حرارتی
۱۰۴	۳-۲-۴-۵- مقایسه با طرح های قبلی
۱۰۵	۴-۲-۴-۵- توزیع تنش حرارتی
۱۰۷	۳-۴-۵- ریخته گری افقی با صفحه بالایی و مقایسه کلی نتایج
۱۰۹	۵-۵- جمع بندی
۱۱۰	فصل ششم - نتیجه گیری
۱۱۴	پیوستها

۱۱۵	پیوست الف - خواص مواد
۱۲۲	پیوست ب - اندازه گیری دمای مسترمولد
۱۳۲	پیوست پ - مسئله معیار
۱۳۵	پیوست ت - تئوری
۱۵۴	منابع

فصل اول

مقدمه

آند مسی یکی از مهمترین تولیدات و در واقع محصول نهایی کارخانه ذوب می باشد. آند در پالایشگاه جهت تولید کاتد مسی به کار می رود. پالایش حرارتی مس در کوره های آندی و در چهار مرحله انجام می شود که عبارتند از شارژ کردن، سرباره گیری، احیا که مراحل مذکور با انجام مرحله ریخته گری کامل می گردند. در این کارخانه سه کوره آندی وجود دارد که ظرفیت هر یک از آنها ۲۵۰ تن است. فرایند ریخته گری آند در قطعه ای به نام مولد از جنس مس در چرخ ریخته گری صورت می گیرد. ریخته گری توسط سه چرخ ریخته گری انجام می شود - چرخ یک، چرخ دو و خاتون آباد. طرح مولد این سه چرخ با هم متفاوت است هر چند آند تولید شده یکی است. چرخ یک و دو به ترتیب شامل ۲۶ و ۱۶ قالب هستند. وزن آند ۳۴۵ کیلوگرم است. شکل های ۱.۲ - ۱.۳.

تولید مولد مسی در کارگاه ریخته گری درون قطعه ای به نام مستر مولد (قالب مادر) صورت می گیرد. جنس مستر مولد در طول فعالیت کارگاه ریخته گری تغییرات زیادی کرده است. با این حال از روی گفته های شفاهی و تحقیقات گذشته می توان به این نتیجه رسید که در ابتدا جنس مستر مولد از چدن داکتیل بوده که به علت تاب برداشتن زیاد و از فرم خارج شدن آن بعد از چند سیکل کاری به طور کامل از بین می رفت. بعد از آن جنس به چدن خاکستری تغییر داده شد که آن نیز به دلیل اکسیداسیون بالای سطح آندی مستر مولد و تنش های حرارتی حاصل از فرایند ریخته گری علیرغم اینکه دچار تغییر شکل نمی شد، باعث ایجاد ترک و در نهایت خارج شدن مستر مولد از چرخه تولید می شد. حتی مستر مولد از جنس مس که به صورت آبگرد بوده نیز در تولید مورد استفاده قرار گرفته است. این طرح نیز به دلیل تغییر شکل زیاد مستر مولد و همچنین چسبیدن مولد به مستر مولد بعد از سرد شدن آن ریخته گری را دچار مشکل می کرده و به همین دلیل دیگر از مستر مولد مسی برای ریخته گری استفاده نمی شود. هم اکنون جنس مستر مولد نوعی چدن آلیاژی است که جزییات آن در اختیار قرار نگرفته است، (شکل ۱.۴).



شکل ۱.۱- آند مسی



شکل ۱.۲- چرخ ریخته گری



شکل ۱.۳- مولد مسی



شکل ۱.۴- مستر مولد

فصل دوم

مروری بر تحقیقات انجام شده

تحقیقات انجام شده پیرامون فرایند تولید آند در کارخانجات مس را می توان به سه بخش تحقیقات بر روی مستر مولد، مولد و آند تقسیم بندی کرد. در بررسی به عمل آمده تا کنون تحقیقات عمده ای صورت گرفته است که به ترتیب زمان انجام به شرح زیر می باشد:

- در سال ۲۰۰۵ آقایان گلاردو و همکاران به بررسی جنس مستر مولد پرداخته اند. در ضمن دلایل شکست مستر مولد را تنش های ناشی از انبساط و انقباض مداوم آن دانسته اند.
 - در سال ۲۰۰۶ آقایان عجب شیری و شرفی به بررسی پارامتر های موثر بر شکست قالب های مستر مولد چدنی و بهینه سازی آن پرداخته اند. در این پژوهش عمدتاً اثر ریخته گری مولد بر ساختار مستر مولد و بررسی چدن های مختلف از نظر مقاومت آنها در برابر خستگی حرارتی و شوک های مربوطه مورد بررسی قرار گرفته اند.
 - در سال ۲۰۰۹ بلازکوئز و همکاران به بررسی دو طرح مختلف از مولد مسی پرداخته اند. که شامل تحلیل حرارتی و مکانیکی است. در این پژوهش از مدل سازی عددی در کنار داده های تجربی استفاده شده که نتایج خوبی بدست آمده است.
- با توجه به اهمیت موضوع و برای سهولت دسترسی به کارهای انجام شده مشروح تحقیقات انجام شده در این بخش ارائه میگردد.

۲-۱- تحقیقات مستقیم

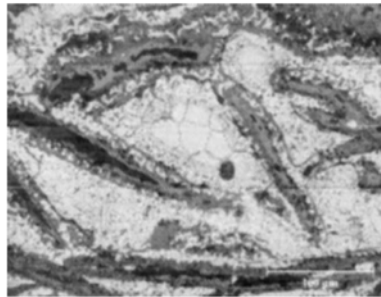
۲-۱-۱- جنس مستر مولد

در سال ۲۰۰۵ گلاردو^۱ و همکاران به بررسی جنس قطعه مستر مولد پرداخته و دو نوع چدن GG-20 و GGG-40 را برای قطعه مستر مولد مورد بررسی قرار داده است. عمر مستر مولد با جنس GG-20 به طور متوسط ۲۶۰ روز بوده و دلیل اصلی از بین رفتن آن رشد ترک های سطحی بوده است. جنس GGG-40 دارای عمر کاری ۱۶۰ روز بوده و بعد از آن قطعه تاب بر می دارد. ترک های موجود آمده بیشتر در سطح و لبه قسمت آندی مستر مولد است (GG-20). با جنس GGG-40 قطعه نمی شکند در عوض تاب بر می دارد.

مطالعات متالوگرافی و سختی سنجی بر روی این دو نوع چدن صورت گرفته است. ساختار میکروسکوپی قطعه ساخته شده از جنس چدن GG-20 ویژگی یک چدن خاکستری فریتی با زمینه کم پرلیت که بیشتر از ۱۵٪ نیست را دارا است. ساختار گرافیت آن نیز پوسته ای^۲

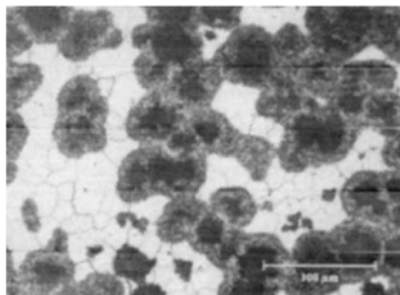
J.M. Gallardo^۱
Flake^۲

شکل است. در این ماده اکسیداسیون شدیدی در سطح آندی با نفوذ به سطح از خود نشان می دهد. آزمایش های متالوگرافی نشان می دهد اکسیداسیون تا عمق بیشتر از ۳۰ میلیمتر نفوذ کرده است.



شکل ۲.۱-۱ اکسیداسیون چدن GG-20

چدن GGG-40 یک نمونه چدن کروی فریتی است. تنها ناحیه های کوچکی از پرلیت در آن قابل تشخیص است. با در نظر گرفتن تغییرات ساختار میکروسکوپی در طول فرایند، مشاهده می شود که نفوذ اکسیداسیون در چدن GGG-40 بسیار کمتر از چدن GG-20 است (حدکثر به عمق ۲ میلیمتر می رسد). شکل کروی گرافیت در مقایسه با ساختار پوسته ای گرافیت در چدن GG-20 باعث می شود اکسیژن به سختی در چدن GGG-40 نفوذ کند. این پدیده تا اندکی پایین بودن میزان ترک در قطعه از این جنس (GGG-40) را توضیح می دهد.



شکل ۲.۲-۱ اکسیداسون چدن GGG-40

اندازه دانه های فریتی^۱ و دانه های گرافیتی^۲ به وضوح در سطح کمتر از عمق است. تفاوت ساختار مشاهده شده (اندازه دانه های فریتی و دانه های گرافیتی) بسیار بزرگتر از چدن GG-20 است. این تفاوت ساختار بین هر دو ماده شاید به دلیل تفاوت در سرعت سرد شدن چدن

Ferrite Grain^۱
Graphite Nodule^۲

ها باشد. از آنجا که پایین مستر مولد روی زمین قرار دارد سرعت سرد شدن از صفحه پایینی کند تر است. این مسئله اندازه بزرگتر دانه-ریز های فریتی^۱ و در نوع چدن کرووی بزرگتر بودن اندازه دانه ها را توضیح می دهد (جدول ۲.۱).

جدول ۲.۱- اندازه دانه های فریت و نودال ها در چدن GGG-40 در عمق های متفاوت، در نمونه هایی از مرکز سطح آندی

288	268	238	50	20	0	عمق (mm)
3/4	4	4/5	4/5	7/8	8	اندازه فریت ^a
3/4	4	4	4/5	5	5/6	اندازه دانه ^b

^a بر اساس استاندارد UNE 7280: 1972

^b بر اساس استاندارد UNE-EN ISO 945: 1996

جدول ۲.۲ سختی اندازه گیری شده دو ماده در اعماق مختلف قطعه نشان می دهد. همچنین شامل استحکام کششی^۲ (R_m) که با سختی در ارتباط است، می باشد. در ضمن سختی ماده GGG-40 بیشتر از GG-20 است که استحکام کششی نیز آن را بیان می کند.

جدول ۲.۲- سختی و استحکام کششی چدن های GG-20 و GGG-40 در عمق های مختلف

GGG-40 ^b		GG-20 ^a		عمق تقریبی
R_m (MPa)	HB	R_m (MPa)	HB	
			100	سطح آند
	120		101	10 mm
=300	124	=100	98	30 mm
			105	50 mm

^۱ Ferrite Granule
^۲ Tensile Strength

123

265 mm

124

275 mm

^a نمونه ها از گوشه ای از قسمت آندی (HB 62.5/2.5/10)

^b نمونه ها از مرکز قسمت آندی (HB 187.5/2.5/30)

چدن خکستری GG-20: آشکار ترین شکست، شبکه ای از ترک ها است که با عنوان کریزینگ^۱ شناخته می شود. این شکست نمونه ای بارز در چدن فریتی است که در طول فاز استحاله به وجود می آید، در حالی که به طور متناوب گرم و سرد می شود. شکست به دلیل تنش های ناشی از انبساط و انقباض مداوم مستر مولد است. کریزینگ نتیجه خستگی حرارتی ناشی از تنش های حرارتی متناوبی است که به صورت یک سیکل به قطعه وارد می شود. گرافیتی شدن کریت های چدن و اکسیداسیون داخلی چدن که عمدتاً به واسطه لایه های گرافیتی به وجود می آید نیز به این تنش ها مربوط می شود. علاوه بر این تنش ها از تغییر شکل ناشی از گرم و سرد شدن غیر یکنواخت افزایش می یابند. گرادیان های حرارتی بیشتر به شکل تغییرات حرارتی اعمال شده به جسم، ضخامت جسم و همچنین تغییرات قابل توجه ضریب هدایت حرارتی بر حسب دما بستگی دارد. تنش های حاصل به ضریب انبساط حرارتی، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون مربوط است. در انتها شکستگی سطحی و یا درونی ماده رابطه مستقیمی با استحکام شکست^۲ آن ماده دارد. چدن GG-20 با گرافیت لایه ای هدایت حرارتی بهتری نسبت به چدن GGG-40 با گرافیت کروی دارد. در 100 °C ضریب هدایت حرارتی چدن خکستری حدود 53.3 W/mK است. در مقابل برای چدن کروی این مقدار 32.3 W/mK می باشد. بنابراین گرادیان حرارتی کمتری در GG-20 نسبت به GGG-40 به وجود می آید. با این وجود استحکام شکست GG-20 کمتر از GGG-40 است. که این دلیل اصلی ترک نخوردن چدن GGG-40 را نشان می دهد. این واقعیت که دیواره ها و سطح آندی مستر مولد ترک می خورد ولی دور تا دور سطح پایینی مستر مولد ترک نمی خورد به این صورت قابل توضیح است که: دیواره ها و سطح آندی تحت اثر گرادیان های حرارتی بیشتری است که ناشی از گرادیان های حرارتی بالا است. سطح آندی گرادیان حرارتی بیشتری را حین ریخته گری تجربه می کند و آن به دلیل ریخته گری مستقیم مذاب بر روی سطح آندی است. خزش^۳ - تغییر ابعاد تدریجی - زمانی اتفاق می افتد که مواد

^۱ Crazeing
^۲ Fracture Strength
^۳ Creep

تحت بار در ناحیه الاستیک در دمای بالا قرار می گیرد. در نوع چدن فریتی میزان مقاومت به خزش به ترکیب شیمیایی و ساختار میکروسکوپی چدن بستگی دارد. به نظر نمی رسد خزش دلیل شکست صفحه پایینی باشد.

چدن کروی GGG-40: در این نوع چدن عیب قطعه زمانی آشکار می شود که سطح آندی تاب بر می دارد و مقعر می شود. در اینجا ترک و تغییر شکل پلاستیک مشاهده نشده است. یک دلیل برای تاب برداشتن قطعه آزاد شدن تنش های الاستیک است. این تنش ها می تواند در اثر گرم و سرد شدن غیر یکنواخت در حین فرایند تولید مولد به وجود آید. هنگام انجماد مستر مولد در هنگام تولید آن انقباض ناهموار سطوح مختلف آن باعث ایجاد تنش های کششی مماسی پس ماند¹ در سطح آندی می شوند که هنگام تاب برداشتن آزاد می شوند. شدت این تنش ها برای یک سیکل حرارتی خاص بستگی به خواص ماده از جمله ضریب هدایت حرارتی و مدول الاستیسیته دارد. مقدار حداکثر آن محدود به استحکام تسلیم ماده است. در چدن کروی تحت بررسی (GGG-40) ضریب هدایت حرارتی کمتر از چدن خاکستری GG-20 است. در مقابل مدول الاستیسیته و استحکام تسلیم GGG-40 بیشتر است. این سه فاکتور با هم باعث می شوند که چدن کروی تنش پس ماند بیشتری هنگامی که تحت تغییر دمای غیر یکنواخت است را تحمل کند.

لذا در بررسی و نتیجه گیری نهایی ماکزیمم دمای مطمئن برای چدن فریتی بین 425°C تا 450°C است. در موضوع مورد بحث چدن باید با مذاب مس که دمای حدود $1170-1200^{\circ}\text{C}$ را دارد در تماس باشد. در این رابطه باید خاطر نشان کرد که دمای ذوب اکثر چدن های فریتی در حدود 1150°C است. در دما های بالا پدیده های متعددی با معیوب شدن قطعه چدنی در ارتباط است. تورم و اکسیداسیون چدن که باعث تغییر ابعاد، خزش و در نتیجه تغییر شکل کوچک اما دائمی می شود و خستگی حرارتی که باعث افزایش ترک و شکست می شود. پارامتر های متعددی بر این پدیده ها تاثیر می گذارند: هدایت حرارتی، خواص مکانیکی مثل مدول الاستیسیته، استحکام کششی و غیره. متأسفانه هیچ چدنی تمام خواص مطلوب را از خود نشان نمی دهد. چدن فریتی GG-20 هدایت حرارتی خیلی خوبی دارد ولی استحکام کششی پایینی دارد. برخلاف آن چدن کروی GGG-40 است (هدایت حرارتی پایین و استحکام کششی بالا). این نشان می دهد چدن ایده آل برای قطعه مستر مولد وجود ندارد. بنابراین هر راه حلی شامل فاکتور های مثبت و

¹ Residual Tangential Tensile Stress

منفی است. بر اساس تجربه استفاده از چدن فریتی در دماهای بالا یک آلیاژ چدن خاکستری به عنوان اولین انتخاب برای دیواره ها و خود مستر مولد پیشنهاد می شود:

ترکیب شیمیایی: کربن: مینیمم % 3.5، سیلیکن: % 1.8، فسفر و سولفور: کمترین حد ممکن ماکزیمم % 0.1، کروم: مینیمم % 0.5، مولیبدن: % 0.4. در ضمن خواص سختی مکانیکی: 200-260 HB و استحکام کششی: مینیمم 240 MPa می باشد.

بر اساس آنچه اشاره شد چدن ایده آلی برای پیشنهاد وجود ندارد و پیشنهاد ترکیبی از فاکتورهای مثبت و منفی است. طیف وسیعی از چدن ها را می توان پیشنهاد نمود شامل چدن های کروی با آلیاژ مولیبدن، با گرافیت کرمی^۱ شکل یا فشرده^۲. عملکرد نهایی قطعه علاوه بر جنس آن به طراحی آن نیز بستگی دارد.

در طراحی قطعه ضخامت مستر مولد در همه جا باید یکسان باشد. با توجه به اینکه ضخامت در قسمت آندی بیشتر است باید زیر آن خالی باشد که می توان آن را با یک پشت بند^۳ مستحکم کرد. در فرایند تولید مستر مولد به طور خاص باید سرد شدن قطعه را تا آنجا که امکان دارد کاهش داد تا منجر به کاهش تنش های پس ماند شود. البته با انجام عملیات حرارتی نیز می توان این تنش ها را آزاد کرد از جمله یک سیکل آنیل کامل^۴، اما باید توجه داشت که این باعث افزایش قیمت تمام شده مستر مولد می شود.

در مرحله اول، آماده کردن مستر مولد جهت ریخته گری مولد، و برای کاهش اثر تغییرات دما هر دو قسمت کفی و دیواره ها باید تا دمای حدود 240 °C پیش گرم شوند و این عمل باید توسط ترموکوپل کنترل شود. ایده آل آن است که پیش گرم همزمان از بالا و پایین قطعه صورت گیرد. پیش گرم می تواند به وسیله مشعل یا یک روکش حرارتی^۵ انجام شود. گرم کردن قسمت بالایی کمک می کند تا مذاب مس در دمای پایین تری ریخته گری شود. دمای ریخته گری باید تا اندازه ای پایین باشد تا سیالیت لازم جهت اینکه مس بتواند بر روی مستر مولد جاری شود را دارا باشد. دمای ریخته گری باید در محدوده 15 °C ± باشد. شوک حرارتی ایجاد شده ناشی از ریخته شدن مس مذاب بر روی سطح را می توان کاهش داد به این شکل که یک ورق مسی روی سطح آندی قرار گیرد که هنگام ریخته گری مذاب مس به طور

^۱ Vermicular
^۲ Compact
^۳ Rib
^۴ Full Annealing
^۵ Thermal Blanket

مستقیم با سطح آندی تماس پیدا نکند و همچنین با ذوب شدن ورق مسی مذاب سردتر شده و شوک حرارتی کمتری به سطح آندی وارد می شود. در این رابطه می توان یک روکش عایق تا حدود ضخامت 0.8 mm روی سطح آندی قرار داد که می تواند سیلیکات سدیم^۱، میکا^۲، تالک^۳، و یا کائولین^۴ باشد. این مواد به صورت مخلوط در آب روی سطح اسپری می شوند. باید توجه داشت که دمای سطح بیش از دمای جوش آب باشد تا بلافاصله آب تبخیر شود.[1]

۲-۱-۲- تحقیق صورت گرفته در مجتمع مس سرچشمه

در سال ۲۰۰۶ عجب شیری و شرفی به بررسی پارامترهای موثر بر شکست قالبهای مادر چدنی (مستر مولد) و بهینه سازی آنها پرداخته اند. در این تحقیق که در قالب یک پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی است، در سال ۱۳۸۵ در بخش پیرو متالورژی واحد تحقیقات مجتمع مس سرچشمه انجام شده است. این تحقیق نیز بر روی قطعه مستر مولد صورت گرفته است. این پژوهش بیشتر از جنبه تاثیر ریخته گری مولد بر ساختار میکروسکوپی مستر مولد و بررسی چدن های مختلف از نظر مقاومت آنها در برابر خستگی حرارتی و شوک حرارتی به موضوع پرداخته شده است. نتایج حاصل و پیشنهادات این تحقیق در ادامه آمده است:

با توجه به بررسیهای انجام شده دلایل شکست قالبهای مادر، شوک حرارتی و خستگی حرارتی دانسته شد. در ضمن ساختار قسمت آندی شکل قالب مادر که در تماس متناوب با مذاب مس بوده طی سیکلهای حرارتی به گرافیت چشم گاوی در زمینه پرلیت ریز تبدیل شده است. همچنین در قسمت آندی شکل قالب بدلیل تماس با مذاب مس و در نتیجه دی کربورگی سطحی، گرافیتهای موجود در این کوچکتر از گرافیتهای دیگر قسمت های قالب می باشند. در اثر تغییرات ساختاری در قسمت آندی شکل، سختی این قسمت از قالب نسبت به دیگر قسمت های قالب افزایش یافته است. نتایج آزمایش کشش گرم نشان داد که چدن داکتیل بینتی در دمای اتاق و دماهای بالا، استحکام بالاتری نسبت به چدن داکتیل پرلیتی دارد. همچنین نتایج آزمایش شوک حرارتی نشان داد که چدن داکتیل بینتی قابلیت شوک پذیری زیادی نسبت به چدن داکتیل پرلیتی دارد. لذا با توجه به نتایج آزمایشات، چدن داکتیل بینتی گزینه مناسبی برای قالبهای مادر چدنی می باشد.

Sodium Silicate^۱
Mica^۲
Talc^۳
Kaolin^۴