

به نام خدا

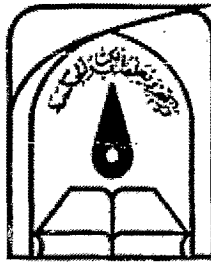


مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مواد- شناسایی و انتخاب

پایان نامه کارشناسی ارشد

تحت عنوان:

کاهش ضایعات ریخته گری بویلر های حرارتی چدنی

نگارش:

آراز سالک

استاد راهنما:

دکتر فرشید مالک

استاد مشاور:

دکتر حمید رضا شاهوردی

پاییز ۸۴

۱۳۸۴ / ۸ / ۲۷

مرکز اطلاعات آمار علمی ایران
کتابخانه مرکزی

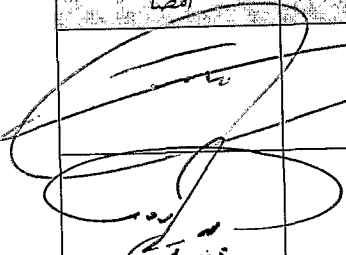
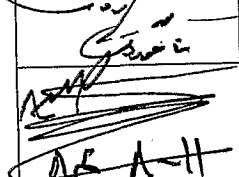
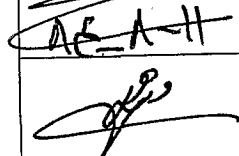

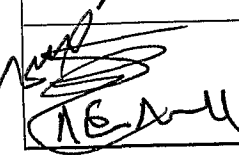


بسمه تعالی

تاییدیه هیات داوران

آقای آراز سالک پایان نامه ۸ واحدی خود را با عنوان کاهش ضایعات ریخته گری بویلرهای حرارتی چدنی در تاریخ ۱۳۸۴/۸/۱۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد - شناسائی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر فرشید مالک قائینی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر حمید رضا شاهوردی		
استاد ناظر	دکتر علیرضا صبور روح اقدم	استادیار	
استاد ناظر	دکتر ناصر ورهرام	رئیس	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر علیرضا صبور روح اقدم	استادیار	

مرکز اطلاعات آمار علمی ایران
تیمبرداران

۷۶۷۵۱



دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاستهای پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عنوان پایان نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه ها / رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین نامه ها و دستورالعمل های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان نامه / رساله نیز منتشر می شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و براساس آیین نامه های مصوب انجام می شود. ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

۲۷ / ۱۱ / ۱۳۸۴

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که پشتیبان همیشگی من بوده‌اند.

تشکر و قدردانی

با سپاس از یزدان بی همتا،

بدینوسیله از زحمات استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر مالک، که با راهنمایی های خویش در طول پروژه مرا یاری نمودند، نهایت تشکر و قدردانی را به عمل می آورم. از جناب آقای مهندس جافریان، در پیشبرد و تکمیل این تحقیق تشکر و قدردانی می کنم. از جناب آقای دکتر شاهوردی نیز به خاطر مشاوره در انجام این تحقیق تشکر می کنم. همچنین از همکاریهای مسئولان و کارکنان شرکت صنعتی ایرفو که در این پژوهش یاری رسان بنده بودند، تقدیر و تشکر می کنم.

در پایان از دوست عزیزم، آقای مهندس محمد رضا وطن آرا به خاطر تمام تلاشهای ایشان در طی انجام این پروژه متشکرم و نهایت قدردانی و سپاسگذاری را به عمل می آورم.

چکیده

ضایعات ریخته گری از جمله دغدغه های اساسی کارخانجات ریخته گری می باشد، چه ضایعات بالا منجر به کاهش بهره وری و ارزش افزوده فرآیند تولید می گردد. در تحقیق حاضر مشکل ضایعات ریخته گری پره های دیگ های حرارت مرکزی در یکی از شرکت های عمده تولید کننده این محصول مورد بررسی قرار گرفته و با اتخاذ روشی نوین در طریقه برخورد با این مشکل، ضایعات ریخته گری دیگ ها کنترل شده و به تدریج کاهش یافت. تولید دیگهای حرارت مرکزی به روش ریخته گری سیلیکات سدیم- CO_2 همراه با ضایعاتی است که ناشی از بروز عیوبی چون ماسه ریزی، جوشیدگی، سرد جوشی و... می باشد. هدف از تحقیق حاضر به کار گیری یکی از جدیدترین و موفق ترین روش های حل مسئله به منظور کاهش ضایعات ریخته گری یک شرکت تولید کننده دیگهای حرارت مرکزی می باشد. این روش که به نام DMAIC شناخته شده است، متشکل از ۵ فاز اصلی در پیشبرد پروژه می باشد. روش DMAIC یکی از روش های حل مسئله شش سیگماست که جایگزین چرخه قدیمی Plan- Do- Check- Act شده است. مطابق با این روش، در فاز اول وضعیت موجود شناسایی گشته، (Define) سپس اندازه گیری های لازم صورت میگیرد (Measure). در فاز سوم نتایج حاصل از اندازه گیری ها تحلیل میگردد (Analyze)، در فاز چهارم اقدامات اصلاحی بر مبنای تحلیل های صورت گرفته اجرا میشود (Improve) و در نهایت نتایج اقدامات به منظور کاهش ضایعات تحت کنترل قرار می گیرد (Control). در نتیجه این اقدامات ضایعات ریخته گری محصول مورد نظر به مقدار ۵۰ درصد میزان اولیه کاهش یافت. از خصوصیات بارز این پروژه به کار گیری روش های کنترل فرآیند و حل مسئله در حل مسئله ای که ذاتاً معضلی متالورژیکی و ریخته گری بود. حل مسئله صرفاً با تکیه بر مباحث متالورژیکی و یا به کار گیری تکنیک های حل مسئله میسر نبود.

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
مقدمه	۱
۱- مروری بر منابع	۳
۱-۱- روش حل مسئله DMAIC	۴
۱-۱-۱- فاز اول: تعریف (Define)	۵
۱-۱-۲- فاز دوم: اندازه گیری (Measure)	۶
۱-۱-۳- فاز سوم: تحلیل (Analyze)	۶
۱-۱-۴- فاز چهارم: بهبود (Improve)	۶
۱-۱-۵- فاز پنجم: کنترل (Control)	۷
۲-۱- پروسه ریخته گری در ماسه سیلیکات سدیم/دی اکسید کربن	۸
۱-۲-۱- مروری بر تاریخچه این روش قالبگیری و ماهیچه سازی	۸
۲-۲-۱- اساس قالبگیری به روش CO ₂	۹
۳-۲-۱- مواد اولیه در قالبگیری به روش CO ₂	۹
۴-۲-۱- افزودن و مخلوط کردن ماسه با چسب	۱۲
۵-۲-۱- جنبه های متالورژیکی فرآیند	۱۲
۲- تعریف	۱۵
۱-۲- تعریف مسأله	۱۶
۱-۱-۲- تبیین وضعیت موجود	۱۶
۱-۱-۱-۲- مراحل تولید دیگ	۱۶
۲-۱-۱-۲- تبیین وضعیت موجود در کارگاه ماهیچه گیری	۱۹
۳-۱-۱-۲- تبیین وضعیت موجود در کارگاه قالبگیری	۲۳
۴-۱-۱-۲- تبیین وضعیت موجود در کارگاه تکمیل	۲۷
۳- اندازه گیری	۳۲
۱-۳- مقدمه	۳۳
۲-۳- نمودار پارتو بر حسب عیوب موجود	۳۳
۳-۳- ترسیم نقشه دقیق مدلها به همراه سیستم راهگامی آنها	۳۴

۳۷	۴-۳- بررسی وضعیت کلی آمار تولید- ضایعات
۵۹	۴- تحلیل
۶۰	۴-۱- مقدمه
۶۳	۴-۲- بررسی آمار تولید- ضایعات بر حسب هر پره
۶۴	۴-۳- تحلیل نمودار پارتو بر حسب عیوب موجود
۶۸	۴-۴- تحلیل نقشه مدلها به همراه سیستم راهگامی آنها
۷۲	۴-۵- تحلیل متالوگرافی مقطع چپلت های مورد استفاده
۷۹	۵- بهبود (Improve)
۸۰	۵-۱- اصلاحات بر مبنای نمودار های P-Chart تولید- ضایعات
۸۰	۵-۱-۱- کنترل جریان فرآیند
۸۵	۵-۱-۲- کنترل ورودی های فرآیند
۸۸	۵-۲- اصلاحات بر مبنای نمودار پارتو عیوب
۹۰	۵-۲-۱- چاره جویی مشکل ناخالصی غیر فلزی
۹۶	۵-۲-۲- کاهش عیب جوشیدگی
۹۸	۵-۲-۳- اصلاح ماسه قالبگیری
۱۰۵	۵-۳- اصلاح سیستم راهگامی
۱۱۳	۵-۴- اصلاح چپلت ها
۱۱۵	۵-۴-۱- طراحی آزمایشات
۱۱۸	۵-۴-۲- نتایج آزمایشات
۱۲۱	۵-۴-۳- بررسی پدیده نفوذ از چدن مذاب به ستون چپلت
۱۳۰	۵-۴-۴- تحلیل نتایج و بحث
۱۴۲	۶- کنترل
۱۴۵	مراجع

فهرست جداول

شماره صفحه	عنوان	شماره جدول
۲۰	زمان و دمای مورد نیاز جهت پخت ماهیچه [*] هر یک از پره ها	۱-۲
۲۹	ترکیب شیمیایی دیگک های چدنی با آنالیز GG 15	۲-۲
۲۹	خواص فیزیکی بر حسب استحکام در چدن های خاکستری	۳-۲
۱۱۹	مقایسه [*] نتایج آزمایشات متالوگرافی مقاطع چپلت های مختلف	۱-۵

فهرست اشکال

شماره شکل	عنوان	شماره صفحه
۱-۱	دیاگرام چرخه DMAIC	۵
۲-۱	نمودار مقایسه ای میانگین تغییرات ابعادی قطعه ریخته گری در قالب های ماسه ای مختلف	۱۳
۱-۲	نمودار گردش کار فرآیند تولید پره های دیگ	۱۸
۲-۲	نمودار گردش کار فرآیند ساخت ماهیچه پره دیگ	۲۱
۳-۲	نمودار گردش کار فرآیند قالبگیری پره های دیگ	۲۵
۴-۲	نمودار گردش کار عملیات تکمیلی پره های دیگ	۲۸
۵-۲	مقطع متالوگرافی دیگ با گرافیت های نوع A	۳۰
۶-۲	نمودار آهن کربن در ۲/۵ درصد سیلیم	۳۱
۱-۳	نمودار پارتو عیوب از فروردین تا خرداد ۸۴	۳۴
۲-۳	نقشه تهیه شده از مدل تای زیر پره وسط TGG	۳۶
۳-۳ (الف)	نمودار P-Chart تولید- ضایعات پره در جلو GG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳	۳۸
۳-۳ (ب)	نمودار P-Chart تولید- ضایعات پره وسط GG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳	۳۸
۳-۳ (ج)	نمودار P-Chart تولید- ضایعات در عقب GG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳	۳۹
۳-۳ (د)	نمودار P-Chart تولید- ضایعات در جلو GG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳	۳۹
۳-۳ (ه)	نمودار P-Chart تولید- ضایعات پره وسط GGG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳	۴۰
۳-۳ (و)	نمودار P-Chart تولید- ضایعات در عقب GG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳	۴۰
۳-۳ (ز)	نمودار P-Chart تولید- ضایعات در جلو TGG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳	۴۱
۳-۳ (ح)	نمودار P-Chart تولید- ضایعات پره وسط TGG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳	۴۱
۳-۳ (ط)	نمودار P-Chart تولید- ضایعات در عقب TGG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳	۴۲
۴-۳ (الف)	تصویری از جوشیدگی که در سطح بالایی قطعه رخ داده است	۴۳
۴-۳ (ب)	تصویری از جوشیدگی که در سطح بالایی قطعه رخ داده است	۴۴
۵-۳ (الف)	تصویری از آخال که در سطح بالایی قطعه رخ داده است	۴۵
۵-۳ (ب)	تصویری از ماسه ریزی که در سطح کناری قطعه رخ داده است	۴۵
۶-۳ (الف)	تصویری از ساچمه که در سطح کناری قطعه رخ داده است	۴۷
۶-۳ (ب)	تصویری از ساچمه که در سطح بالایی قطعه رخ داده است	۴۷
۷-۳	تصویری از شکستگی محل چپلت که در سطح کناری قطعه رخ داده است	۴۹
۸-۳ (الف)	تصویری از نیامد در سطح بالایی قطعه	۵۰
۸-۳ (ب)	تصویری از نیامد در سطح بالایی قطعه	۵۰
۹-۳ (الف)	تصویری از سرد جوشی که در سطح کناری قطعه رخ داده است	۵۱
شکل ۹-۳ (ب)	تصویری از سرد جوشی که در سطح کناری قطعه رخ داده است	۵۲

۵۳	تصویری از بیرون زدگی ذوب که در نزدیکی سر ماهیچه رخ داده است	۱۰-۳ (الف)
۵۳	تصویری از بیرون زدگی ناموفق ذوب از محل سر ماهیچه	۱۰-۳ (ب)
۵۴	تصویری از شکستگی قالب که در قسمت کناری قطعه رخ داده است	۱۱-۳ (الف)
۵۵	تصویری از شکستگی قالب که در قسمت کناری قطعه رخ داده است	۱۱-۳ (ب)
۵۶	تصویری از نیامد کردن ذوب در قسمت کناری قطعه که رخ داده است	۱۲-۳ (الف)
۵۷	تصویری از نیامد کردن ذوب که در قسمت کناری قطعه رخ داده است	۱۲-۳ (ب)
۵۸	تصویری از شکستگی ماهیچه که در قسمت کناری قطعه رخ داده است	۱۳-۳
۶۶	تصویری از قسمت سر ماهیچه که به دلیل بیرون زدن ذوب در این قسمت خروج گاز از این محل دشوار شده است	۱-۴
۶۶	تصویر حفره گازی در اثر عدم امکان خروج گاز ماهیچه از سر ماهیچه و ایجاد حفره در قسمت بالایی قطعه	۲-۴
۶۷	تصویر کانالی از ناخالصیها در مقطع عرضی قطعه که کاملاً راه بدر است	۳-۴
۷۰	تصویر شماتیک مقطع سیستم راهگاهی	۴-۴
۷۲	چپلت تولید شده در شرکت ایرفو با شکل I که در پره های سبک به کار می رود	۵-۴ (الف)
۷۳	چپلت تولید شده در شرکت ایرفو که در پره های سنگین به کار می رود	۵-۴ (ب)
۷۵	نمودار حالت پایداری آهن-کربن-اکسیژن	شکل ۶-۴
۷۶	تصویر سوسه ایجاد شده در دو طرف ستون چپلت	شکل ۷-۴
۷۷	تصویر مقطع عرضی چپلت در داخل پره؛ نوار سیاه محیط چپلت نشانه ای از عدم نفوذ چپلت در چدن زمینه می باشد	شکل ۸-۴
۷۸	تصویر پس از پولیش مقطع چپلت در پره دیگر	شکل ۹-۴
۷۸	تصویر پس از پولیش مقطع عرضی چپلت در چدن زمینه	شکل ۱۰-۴
۸۱	برگه کنترل فرآیند تولید و عملیات تکمیل دیگر	شکل ۱-۵
۸۹	نمودار پارتو عیوب دیگر از تیر الی دی ماه ۱۳۸۳	شکل ۲-۵
۹۱	تصویر دستگاه هانسبرگ که ماهیچه هنوز در داخل تای زیر می باشد	شکل ۳-۵
۹۲	تصویر ماسه درون میکسر و ناخالصی های درشت گرافیت مخلوط در ماسه	۴-۵ (الف)
۹۳	تصویر ناخالصی (دانه گرافیت) در سطح قالب که با فلش مشخص شده است	۴-۵ (ب)
۹۳	تصویر حفره ای که در اثر ورود گرافیت به مذاب ایجاد شده است	۴-۵ (ج)
۱۰۰	تصویر دستگاه ماسه کوب	۵-۵
۱۰۰	تصویر دو فک آزمایش های استحکام فشاری و برشی	۶-۵
۱۰۰	تصویر دستگاه تعیین استحکام	۷-۵
۱۰۱	منحنی استحکام برشی ماسه در دمای محیط با درصد چسب و عدد ریزی	۸-۵

متغیر

۱۰۲	منحنی استحکام فشاری ماسه در دمای محیط با درصد چسب و عدد ریزی متغیر	۹-۵
۱۰۲	منحنی استحکام فشاری ماسه در دمای 10°C با درصد چسب و عدد ریزی متغیر	۱۰-۵
۱۰۳	منحنی استحکام فشاری ماسه در دمای 10°C با درصد چسب و عدد ریزی متغیر	۱۱-۵
۱۰۶	نقشه مدل پره وسط TGG به همراه سیستم راهگاهی آن	۱۲-۵
۱۰۷	نمودار زمان ذوب ریزی بر حسب وزن قطعه ریخته گری	۱۳-۵
۱۱۰	نمودار سطح مقطع تنگه بر حسب وزن قطعه ریخته گری	۱۴-۵
۱۱۱	نقشه مدل پره وسط TGG پس از اصلاح سیستم راهگاهی	۱۵-۵
۱۱۶	تصویر دو تای (تای رو و تای زیر) قالب تست بلوک	۱۶-۵
۱۱۷	تصویر سمت راست چپل با دوسطح بالا و پایینی سوراخدار و با پوشش مس و چپل سمت چپ با پوشش قلع و با سطوح بالا و پایین صاف می باشد	۱۷-۵
۱۲۱	پروفیل غلظت کربن در مذاب و در مجاورت فولادی	۱۸-۵
۱۲۲	دیاگرام فاز آهن کربن مشخص کننده درصد کربن در شکل ۵-۱۸	۱۹-۵
۱۲۳	منحنی زمان ذوب شدن (tm) برای میله ای فولادی به ضخامت ۲/۵ mm و با غلظت ۰/۱ درصد کربن در مذاب چدن با درصد کربن های مختلف	۲۰-۵
۱۲۶	منحنی ضریب نفوذ کربن در فاز آستنیت بر حسب دما	۲۱-۵
۱۲۷	نمودار سرد شدن تعادلی چدن	۲۲-۵
۱۲۸	گرادیان غلظت کربن در فواصل X از سطح چپل	۲۳-۵
۱۲۹	اثر عناصر آلیاژی بر حد حلالیت کربن در چدن	۲۴-۵
۱۳۰	هیستوگرام نتایج آزمایش متالوگرافی چپل ها	۲۵-۵
۱۳۱	تصویر متالوگرافی مقطع چپل شماره ۴ (قلع اندود با سطوح صاف و دمای 1320°C)، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر	۲۶-۵
۱۳۲	تصویر مقطع پس از پولیش نمونه شماره ۸ (مس اندود با سطوح صاف در دمای 1320°C)، بزرگنمایی ۲۰۰ برابر، سه ناحیه A, B, C نیز در این تصویر مشخص شده اند	۲۷-۵
۱۳۳	تصویر مقطع پس از پولیش نمونه شماره ۱۷ (دوبار قلع اندود با سطوح صاف در دمای 1320°C)، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر	۲۸-۵
۱۳۳	تصویر متالوگرافی مقطع چپل شماره ۲۲ (قلع اندود در دمای 1250°C) پس از پولیش، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر	۲۹-۵
۱۳۴	تصویر متالوگرافی مقطع چپل شماره ۲۵ (مس اندود در دمای 1250°C) پس از پولیش، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر	۳۰-۵

۱۳۴	تصویر متالوگرافی مقطع چپلت شماره ۳۰ (دوبار قلع اندود در دمای ۱۲۵۰°C) پس از پولیش، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر	۳۱-۵
۱۳۵	تصویر متالوگرافی مقطع چپلت شماره ۱۸ (دوبار قلع اندود در دمای ۱۳۲۰°C) پس از اچ، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر	۳۲-۵
۱۳۶	تصویر متالوگرافی مقطع چپلت شماره ۱۸ (دوبار قلع اندود در دمای ۱۳۲۰°C) پس از اچ، بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر	۳۳-۵
۱۳۷	تصویر متالوگرافی مقطع چپلت شماره ۱۸ (دوبار قلع اندود در دمای ۱۳۲۰°C) پس از اچ، بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر	۳۴-۵
۱۳۸	تصویر SEM از ناحیه پرلیتی با مرز دانه سمانتیت	۳۵-۵
۱۳۹	تصویر SEM از ناحیه ۱۰۰ درصد پرلیتی	۳۶-۵
۱۳۹	تصویر متالوگرافی مقطع چپلت شماره ۱۸ (دوبار قلع اندود در دمای ۱۳۲۰°C) پس از اچ، بزرگنمایی ۵۰۰ برابر	۳۷-۵
۱۴۱	تصویر اسکن خطی از چپلت با پوشش مس در دمای پایین	۳۸-۵
۱۴۳	نمودار P-Chart مربوط به تولید روزانه پره وسط TGG در ماه دی	۱-۶
۱۴۴	نمودار P-Chart مربوط به تولید روزانه پره وسط TGG	۲-۶
۱۴۴	نمودار مقایسه ای عملکرد فرآیند در دو حالت قبل و بعد از انجام پروژه	۳-۶

مقدمه

ضایعات تولید در فرآیند های ریخته گری از جمله مسائلی است که همواره گریبان گیر کارخانجات ریخته گری بوده و هست. ضایعات بالای تولید به کاهش بهره وری و ارزش افزوده^۱ فرآیند منجر می شود که در نتیجه کارخانجات ریخته گری را با مشکلات عدیده^۲ مالی مواجه می سازد. در تحقیق حاضر مشکل ضایعات ریخته گری پره های دیگ های حرارت مرکزی در یکی از شرکت های عمده^۳ تولید کننده^۴ این محصول مورد بررسی قرار گرفته و با اتخاذ روشی نوین در طبقه^۵ برخورد با این مشکل، ضایعات این دیگ ها کنترل شده و به تدریج کاهش یافت. بدین منظور از یکی از روشهای حل مسئله^۶ شش سیگما (Six Sigma) به نام DMAIC استفاده گردید. شش سیگما یکی از روش های مهمی است که به سازمانها جهت بهبود فرآیند های کسب و کار، کاهش هزینه ها، افزایش بهره وری و بهبود عملکرد کمک می کند. یک تعریف مناسب برای شش سیگما عبارتست از: "شش سیگما روشی است منظم و دقیق که با به کار گیری اطلاعات و تحلیل آماری، عملکرد فرآیندهای سازمان را اندازه گیری می کند و با شناسایی عوامل ضایعات، برای کاهش آنها طرح ریزی می نماید. حاصل به کار گیری شش سیگما بهبود مداوم فرآیند ها است". سیگما در اصطلاح آماری به انحراف از معیار اطلاق می شود که مشخص کننده^۷ درجه^۸ انحرافات در مجموعه ای از اندازه گیری ها و یا در یک فرآیند می باشد. در درجه^۹ شش سیگما تنها ۳،۴ درصد شانس خرابی در یک میلیون فرصت وجود دارد. شش سیگما یک فلسفه^{۱۰} مدیریتی است که تمرکز بر از بین بردن ضایعات با تأکید بر شناخت، اندازه گیری و بهبود فرآیندها دارد. DMAIC یکی از روشهای ساختار یافته، منظم و دقیق شش سیگما به منظور حل مسئله می باشد. DMAIC در مواقعی به کار گرفته می شود که محصولی در حال تولید است ولی خواسته ها و توقعات مشتری را برآورده نمی سازد یا در تأمین آن ها با مشکل روبرو است. این روش شامل پنج فاز است:

فاز اول: تعریف (Define)

فاز دوم: اندازه گیری (Measurement)

فاز سوم: تحلیل (Analyze)

فاز چهارم: بهبود (Improve)

فاز پنجم: کنترل (Control)

بویلرهای حرارتی از جمله تولیدات اصلی شرکت ایرفو می باشند که از جنس چدن خاکستری (GG25) ریخته گری می شوند. در این شرکت از فرآیند سیلیکات سدیم- CO_2 جهت قالبگیری استفاده می شود. ماهیچه ها به روش Hot Box تولید می شوند و جهت حفظ فاصله ماهیچه ها از قالب از چپلت (chaplet) استفاده می شود. قطعات به طور افقی قالبگیری و به طور عمودی ذوب ریزی می شوند و سیستم های راهگاہی این قطعات عموماً به صورت فشاری طراحی شده اند. میانگین ضایعات ریخته گری این محصول در طول پنج سال گذشته (از سال ۷۸ تا کنون) به طور متوسط ۲۳ درصد بوده است. در زمان تعریف این پروژه آمار ضایعات به بیش از ۳۴ درصد افزایش یافته، که در نتیجه شرکت را با بحرانی جدی مواجه ساخته است. ضایعاتی که عمدتاً مشاهده می شوند از نوع ناخالصی های غیر فلزی، مک های گازی راه بدر، عدم یکنواختی ضخامت ها در مقاطع مختلف و آب دهی از محل قرار گیری چپلت می باشند.

فصل اول

مروری بر منابع

۱-۱- روش حل مسئله DMAIC

DMAIC یکی از روش های ساختار یافته، منظم و دقیق حل مسئله می باشد که از متد های مورد استفاده در شش سیگما (SIX SIGMA) می باشد. این روش از معروفترین و متداول ترین روش های حل مسئله است و هنگامی به کار گرفته می شود که محصولی در حال تولید است ولی خواسته ها و توقعات مشتری را برآورده نمی سازد یا در تأمین آن ها با مشکل روبرو است. این روش شامل پنج فاز است:

فاز اول: تعریف (Define)

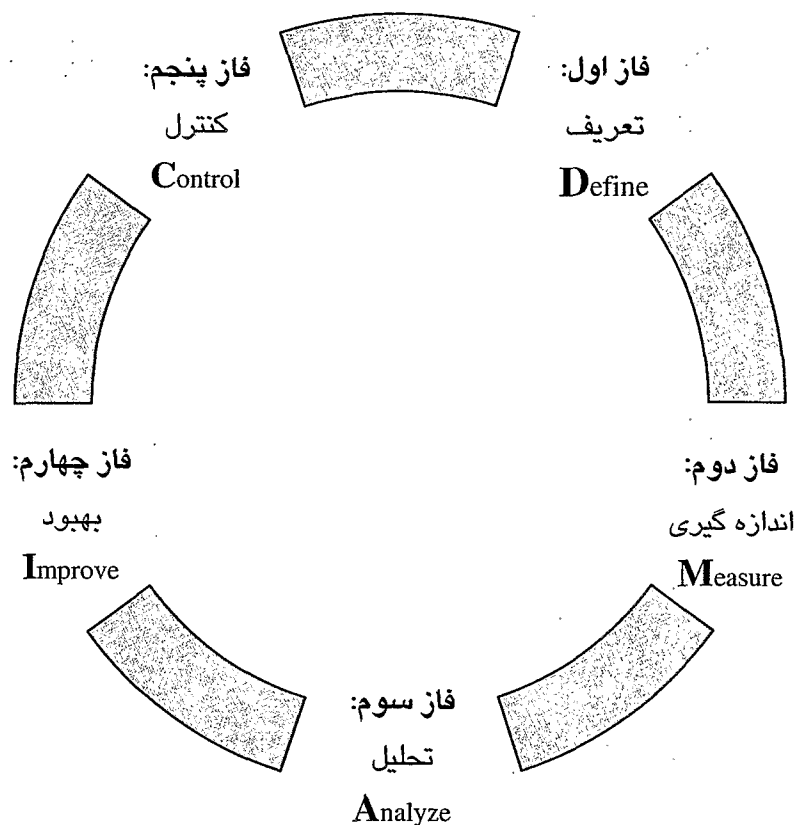
فاز دوم: اندازه گیری (Measurement)

فاز سوم: تحلیل (Analyze)

فاز چهارم: بهبود (Improve)

فاز پنجم: کنترل (Control) [۱]

DMAIC یکی از قالب های نوین حل مسئله است که جایگزین چرخه قدیمی بهبود Plan- Do- Check-Act شده است. استفاده از این روش می تواند در افزایش بهره وری و کاهش هزینه های شرکت های ریخته گری موثر واقع شود [۲]. شکل ۱-۱ سیکل DMAIC را نشان می دهد.



شکل ۱-۱: دیاگرام چرخه DMAIC

۱-۱-۱- فاز اول: تعریف (Define)

در این فاز باید اهداف فعالیت های بهبود کاملاً مشخص شود. این اهداف در سطح فعالیت های پروژه ای معمولاً در حد کاهش تعداد عیوب و افزایش بهره وری یک فرآیند یا یک دستگاه می باشد. در این مرحله باید دامنه فعالیت های بهبود نیز به طور مشخص معین گردد. بدین منظور باید یک تیم آموزش دیده تشکیل گردد و اعضای آن متعهد به کار بر روی پروژه بهبود با اهداف و دامنه های مشخص، گردند. تیم باید به طور مستمر و منظم جلسات دوره ای برقرار کند.

۱-۱-۲- فاز دوم: اندازه گیری (Measure)

در این فاز باید وضعیت موجود سیستم کاملاً سنجیده و مورد اندازه گیری قرار گیرد. باید شاخص یا شاخص هایی را برای پایش و اندازه گیری پیشرفت در راستای هدف بهبود تعریف کرد. در این مرحله باید برای جمع آوری اطلاعات مورد نیاز طرحریزی صورت گیرد و سپس نسبت به جمع آوری اطلاعات اقدام شود. معمولاً روند میانگین عملکرد فرآیند و انحراف معیار استاندارد آن اندازه گیری می شود.

۱-۱-۳- فاز سوم: تحلیل (Analyze)

در این مرحله به تجزیه و تحلیل داده های کسب شده از سیستم با هدف بهبود و از میان بردن فاصله عملکرد کنونی و عملکرد مورد نظر (هدف) پرداخته می شود. در این فاز لیستی از توصیه ها و راهکار های بهبود ارائه شده و سپس اولویت بندی می شوند. در مرحله تحلیل می توان از ابزار های آماری جهت تجزیه و تحلیل داده ها استفاده کرد.

۱-۱-۴- فاز چهارم: بهبود (Improve)

در این فاز باید از قوه خلاقیت و تفکر اعضای تیم برای یافتن بهترین، ارزانترین، سریعترین و امن ترین راه حل استفاده کرد. برای انتخاب مناسبترین راه حل باید طرحریزی کرد. ابتدا باید برای آزمایش راه حل های ارائه شده طرح ریزی کرد سپس در مقیاس کوچک آزمایشات را انجام داد و نتایج آزمایشات را به دقت بررسی کرد و مورد تحلیل قرار داد و در نهایت مناسب ترین راهکار را به

کار بست. می توان از ابزاری همانند مدیریت پروژه یا سایر ابزار طرح ریزی و مدیریت برای به اجرا گذاشتن راهکار های بهبود استفاده کرد.

۱-۱-۵- فاز پنجم: کنترل (Control)

در این مرحله باید سیستم جدید را به دقت و با حساسیت بالایی کنترل کرد. تغییرات باید در سیستم جدید نهاده شده و باید یک سیستم پایش فرآیند مستند و مدون گردد تا بتوان از تحت کنترل بودن سیستم جدید اطمینان حاصل کرد.

به کار گیری رویکرد شش سیگما (Six Sigma) در فعالیتهای بهبود با هدف افزایش بهره وری و ارزش افزوده در صنعت ریخته گری از مقولاتی است که به تازگی مورد توجه قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۴ روش DMAIC به عنوان یکی از روش های بهبود فرآیند در کاهش هزینه تولید قالب و ماهیچه ماسه ای مورد توجه قرار گرفته است [۳].

۱-۲- پروسه^۱ ریخته گری در ماسه سیلیکات سدیم/دی اکسید کربن^۱

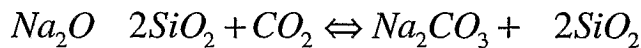
۱-۲-۱- مروری بر تاریخچه این روش قالبگیری و ماهیچه سازی

فرآیند قالبگیری به روش CO_2 از سال ۱۸۹۸ در قسمتهایی از اروپا و به خصوص در انگلستان مورد استفاده بوده ولی می توان اصلاح این روش و طرح آن به صورت تجاری را به سال ۱۹۵۶ نسبت داد. معرفی این روش در مقیاس های تجاری تا تأثیر عمده ای بر صنعت ریخته گری آن دوران که عمدتاً محدود به روش ماسه تر و خشک می شد، داشت. با افزایش کاربرد این روش در دهه های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی برخی مشکلات درونی روش CO_2 بروز و نمود بیشتری یافتند. قالب های ریخته شده^۱ CO_2 به سختی خرد می شدند، حرکت ماسه در داخل مدل یا جعبه ماهیچه به سهولت صورت نمی گرفت و استحکام قالب ها و ماهیچه ها در مدت نگهداری افت می کرد. در سال ۱۹۷۰ تحقیقات گسترده ای با هدف افزایش قابلیت و کارایی فرآیند قالبگیری CO_2 ، پایه گذاری شد. در آن زمان شرایط جهان به سمت نمایش اهمیت مزایای این روش تغییر یافت چرا که مواد اولیه چسب در این روش بسیار سهل الوصول تر از رزینها و سایر چسب های آلی دیگر بود که تأمین کنندگان محدودی نیز داشت و از لحاظ زیست محیطی نیز به سایر روشها مزیت داشت و مهمتر از همه در مقایسه با سایر روش ها انرژی کمتری مورد نیاز بود [۴].

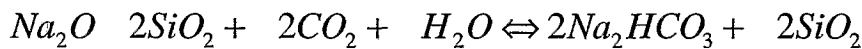
¹ Co2 / Sodium Silicate Process

۱-۲-۲- اساس قالبگیری به روش CO₂

در روش قالبگیری سیلیکات سدیم، از دی اکسید کربن برای رسوب دهی سدیم از ماده ای که در واقع اسید سیلیسیک حاوی مقدار قابل ملاحظه ای سدیم کلوئیدی است، استفاده می شود. واکنش به این صورت می باشد:



ادامه گاز دهی منجر به دی هیدراته شدن سیلیکا ژل می شود و در نتیجه استحکام قالب افزایش می یابد.



۱-۲-۳- مواد اولیه در قالبگیری به روش CO₂

۱-۳-۲-۱- ماسه سیلیسی

هر نوع ماسه سیلیسی تمیز را می توان در این فرآیند به کار برد ولی برای تولیدی بهتر باید در انتخاب ماسه پایه دقت کرد. لذا باید ماسه از جهات زیر مورد بررسی و کنترل قرار گیرد:

- اندازه و توزیع دانه ذرات
- میزان خاک موجود
- میزان رطوبت موجود
- دمای ماسه

مرکز اطلاعات آمار علمی ایران
نماینده آمار

اندازه ذرات می تواند بر عوامل زیر تأثیر گذار باشد:

۱. نرخ افزایش استحکام در حین گاز دهی با گاز CO_2

۲. میزان تغییر استحکام در نگهداری ماهیچه ها یا قالب ها

۳. قابلیت عبور دهی گاز

۴. کیفیت سطحی قطعه ریخته شده

وجود خاک در ماسه مورد استفاده در فرآیند معمولاً مضر است. وجود خاک منجر به کاهش عمر مفید مخلوط ماسه و چسب، تولید قالب ها و ماهیچه هایی با استحکام پایین و تردی و شکنندگی بالا در گوشه ها و لبه ها می گردد.

ماسه سیلیسی خشک معمولاً در فرآیند ترجیح داده می شود. استفاده از ماسه با میزان رطوبت بالا استحکام خام قالب و ماهیچه را کاهش می دهد ولی واکنش سخت شدن چسب با CO_2 را تسریع می کند.

واکنش سخت شدن بین چسب و CO_2 در دماهای پایین بسیار کند است و تقریباً در دماهای زیر ۱۰ درجه سانتیگراد با مصرف بیش از حد گاز نیز نمی توان به استحکام قابل قبولی دست یافت. لذا در فصل سرما کنترل دمای ماسه بسیار ضروری است. اگر دمای ماسه بیش از حد بالا باشد ($40^{\circ}C$) خطر خشک شدن ماسه قبل از گاز دهی و ترد و شکننده شدن قالب ها کاملاً محتمل است. لذا دمای کاری توصیه شده بین $20^{\circ}C$ تا $30^{\circ}C$ می باشد.

۲-۳-۲-۱- چسب های سیلیکات سدیم

دو نوع چسب سیلیکات سدیم در صنایع ریخته گری به طور عمده مصرف می شوند. نوع اول محلول آبی سیلیکات سدیم می باشد که هیچ نوع افزودنی ندارد و نوع دوم محلول آبی سیلیکات سدیم است با افزودنی هایی مانند قند و ملاس. عموماً درجه سیلیکات سدیم را با توجه به نسبت وزنی بدست آمده از تقسیم درصد سیلیکا به درصد اکسید سدیم، که در محلول سیلیکات سدیم موجودند، مشخص می کنند و آن را اصطلاحاً ریشیو می نامند. برای مثال محلولی که حاوی ۳۰،۴ درصد سیلیکا (SiO_2) و ۱۵،۲ درصد اکسید سدیم (Na_2O) باشد دارای ریشیو ۲:۱ خواهد بود. این نسبت برای مشخص کردن درجه چسب سیلیکات سدیم کافیت [۵].

۳-۳-۲-۱- پوشش یا پوشان سطح قالب های CO_2

در اکثر موارد استفاده از روش قالبگیری CO_2 نیاز است تا پوشان به سطح قالب اعمال گردد. دلایل این اقدام عبارتند از:

۱. بهبود کیفیت سطحی قطعه ریخته شده

۲. کاهش ماسه سوزی

۳. کاهش نفوذ فلز مذاب در قالب یا ماهیچه

افزایش استحکام قالب یا ماهیچه با استفاده از پوشان خطر سایش دیواره های قالب را کاهش می دهد. استفاده از پوشان نه تنها کیفیت سطحی و ظاهر قطعه را بهبود می بخشد، بلکه هزینه تمیز کاری بعدی (سنگ زنی) را نیز به شدت کاهش می دهد. پوشان با بجای گذاشتن لایه ای نسوز و پر کردن خلل و فرج قالب به افزایش کیفیت سطحی و سلامت قطعه ریخته گری کمک می کند.

پوشان های پایه الکلی، با مواد نسوز گرافیت فرآوری شده و زیرکون، و نوع محلول معمولاً استفاده می شوند. غالباً الکل ایزوپروپان به متیل الکل ترجیح داده می شود زیرا که کمتر سمی است و نقطه جوش بالاتری دارد.

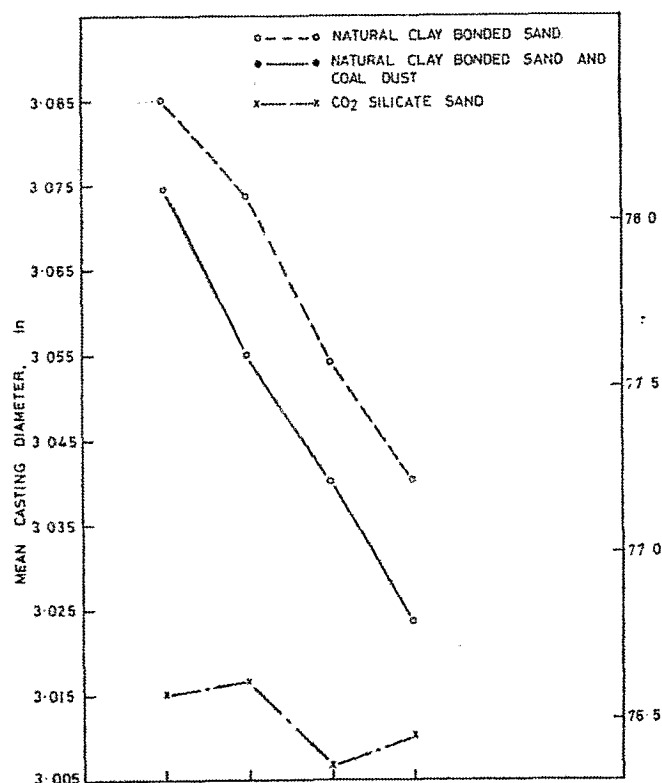
۱-۲-۴- افزودن و مخلوط کردن ماسه با چسب

این مرحله از فرآیند از جهات زیر حائز اهمیت است:

۱. یک توزیع یکنواخت از چسب سیلیکات سدیم ایجاد شود به طوریکه تمام دانه های ماسه به طور برابر آغشته به چسب شوند.
۲. کمترین تبخیر آب و خشک شدن محلول آبی سیلیکات سدیم را به همراه داشته باشد.
۳. کمترین افزایش دما در حجم ماسه را ایجاد کند.

۱-۲-۵- جنبه های متالورژیکی فرآیند

- دقت ابعادی : یکی از مهمترین مزایای ادعا شده در مورد این روش دقت ابعادی بالای این فرآیند است. تلورانس ابعادی که برای سطح ماشینکاری نشده^۲ قطعه پیش بینی می شود $\pm \frac{1}{16} in$ می باشد. شکل ۱-۲ نمودار مقایسه ای دقت ابعادی این روش با سایر روشهای قالبگیری در دماهای مختلف را نشان می دهد.
- سلامت قطعه^۲ ریخته شده: به دلیل ثبات نسبی دیواره های قالب درمقابل فشارورده از طرف نوب، در روش سیلیکات سدیم عیوب ناشی از این مشکل به کمترین حد خود میرسد.



شکل ۱-۲- نمودار مقایسه ای میانگین تغییرات ابعادی قطعه ریخته گری در قالب های ماسه ای مختلف

معمولاً میزان چسب سیلیکات - که به چسب شیشه معروف است- بین ۳ تا ۶ درصد متغیر است و به نوع ماسه، عدد ریزی ماسه، آلیاژی که ریخته می شود و دمای ذوب ریزی بستگی دارد. با افزایش عدد ریزی ماسه میزان چسب مورد نیاز نیز افزایش می یابد. برای مثال ماسه ای با عدد ریزی ۵۵ به ۲،۵ تا ۴ درصد چسب نیاز دارد و ماسه ای با عدد ریزی ۱۲۰ تا ۱۴۰ به ۱،۵ تا ۳ درصد چسب بیشتر نیاز دارد.

استحکام اولیه ماهیچه ای که برای ۵ ثانیه گاز دهی شده است از ۲۲۵ تا ۳۱۰ kPa تغییر می کند. با نگهداری ماهیچه تا ۲۴ ساعت می توان استحکامی بین ۶۷۰ تا ۱۳۸۰ kPa نیز به دست آورد که این افزایش به علت دی هیدراته شدن مقداری از ژل سیلیکات واکنش نداده است. در صورتیکه

چسب مورد استفاده حاوی موادی مانند نشاسته، شکر، ملاس و یا کربو هیدرات ها باشد، در قالبگیری باید یک پروسه^۵ کوتاه حرارت دهی به قالب انجام شود.

ماسه^۶ سیلیسی، در این روش، پس از ریخته گری تا ۶۰ درصد قابل باز یافت و استفاده^۷ مجدد است. باز یافت ماسه به دو روش خشک (مکانیکی) و شستشو امکان پذیر است [۵ و ۶].

فصل دوم

فاز تعریف

Define

۲-۱- تعریف مسأله

شرکت ایرفو از جمله تولید کنندگان با سابقه^۱ دیگهای شوفاژ می باشد. این شرکت توانایی تولید دیگهای حرارت مرکزی در چهار مدل و اندازه^۲ مختلف GG, GGG, TGG و PGG را داراست. ضایعات ریخته گری شرکت ایرفو، با سابقه^۳ چندین ساله در تولید دیگهای حرارت مرکزی، در زمان تعریف این پروژه (خرداد ۸۳) به طور متوسط به ۳۲٪ رسیده بود. ضایعات ۳۲٪ ای شرکت ایرفو نه تنها سودی از تولید عاید شرکت نمی کرد بلکه به شدت شرکت را با مشکلات مالی مواجه نموده بود. طی برآورد ها و راینیهایی که با مدیران ارشد سازمان صورت گرفت، بنا شد تا پروژه ای در جهت بهبود تولید و کاهش ضایعات تولید به انجام رسد. تولید با ضایعات زیر ۱۴٪ به عنوان هدف این پروژه تعیین گردید.

۲-۱-۱- تبیین وضعیت موجود

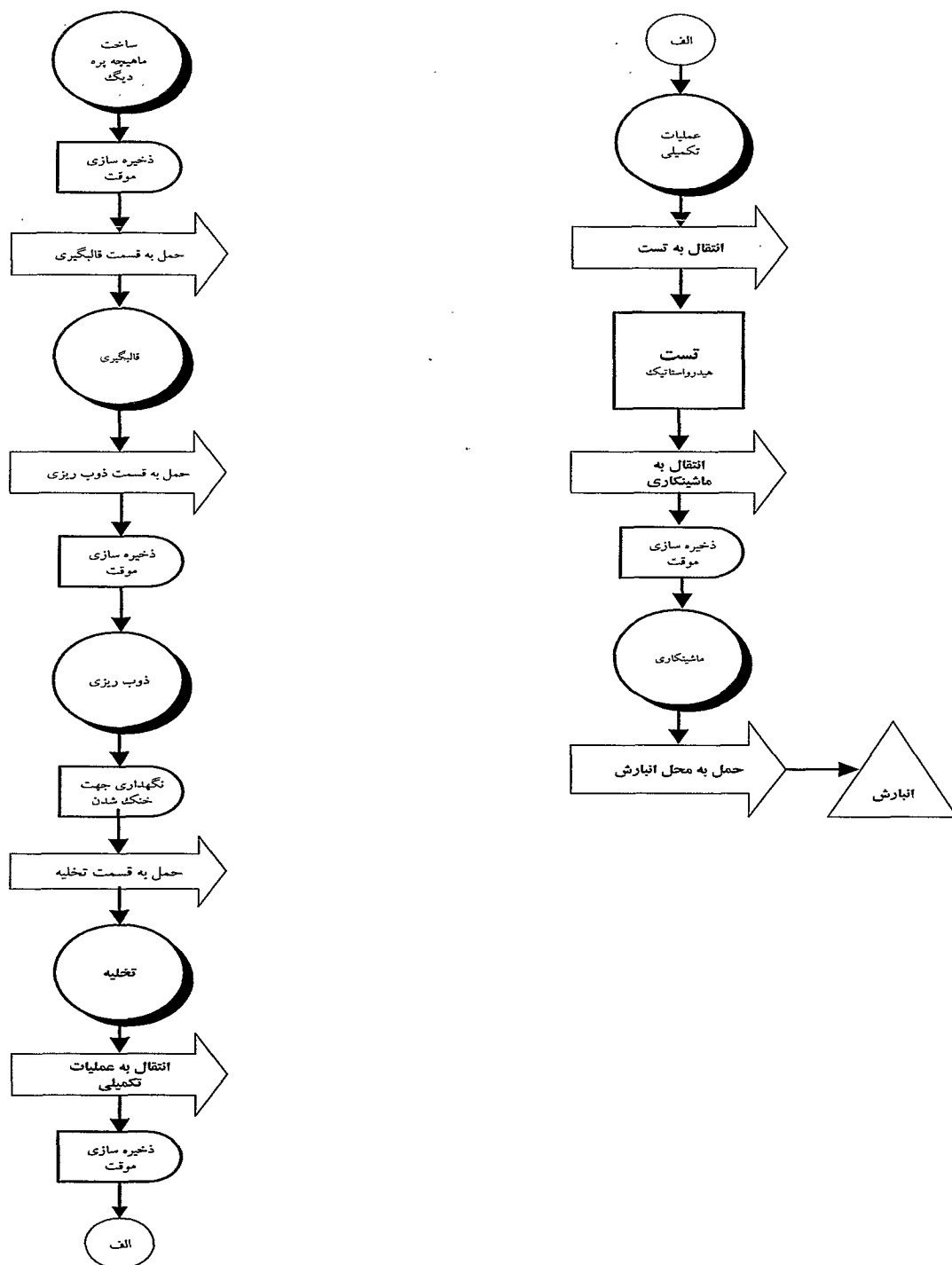
۲-۱-۱-۱- مراحل تولید دیگ

قالبگیری پره های دیگ به روش ماسه CO_2 صورت میگیرد. پروسه^۴ قالبگیری به صورت دستی و با سیستم Jolt-Squeeze انجام می شود. قالبگیری قطعات دیگ افقی و نوبریزی آنها به حالت عمودی می باشد. مدل ها از جنس آلومینیم هستند، صفحه^۵ مدل حاوی منفذهایی است که مسیر تزریق گاز CO_2 به قالب کوبیده شده می باشد. در داخل کلاف^۶ مدل مفتولهایی متصل به یک صفحه^۷ متحرک تعبیه شده اند که توسط اپراتور قالبگیری کنترل می شوند. فرد قالبگیر می تواند، پس از این که قالب ماسه ای به استحکام لازم رسید، قالب را بدین وسیله از مدل جدا نماید.

ماه‌یچه‌های مورد استفاده در ریخته‌گری پره‌های دیگ، از شوت کردن ماسه توسط دستگاه‌های ماه‌یچه‌گیری (هانسبرگ) به داخل جعبه ماه‌یچه تولید می‌شوند. در ساخت ماه‌یچه‌ها از چسب ترمو شوک استفاده می‌شود. ماه‌یچه‌ها سپس به داخل کوره‌ها منتقل می‌شوند تا به استحکام لازم برسند. پس از خارج کردن ماه‌یچه‌ها از داخل کوره، به سطح آنها رنگ نسوز گرافیتی پایه آبی اعمال می‌شود. ماه‌یچه‌ها پس از رنگ باید به طور کامل خشک شوند تا از نفوذ رطوبت به داخل قالب ماسه‌ای جلوگیری شود.

جهت حفظ فاصله بین دیواره قالب و ماه‌یچه از چپ‌ت استفاده می‌شود. تای زیر و روی قالب‌های پره‌های دیگ پس از رنگ زدن سطوح قالب با رنگ نسوز زیرکونی و گرافیتی پایه الکلی مونتاژ شده و در دسته‌های ۲،۴ و ۵ تایی، بسته به نوع پره، در داخل پالتهایی مخصوص قرار می‌گیرند. پس از نصب حوضچه‌بارریزی روی سیستم راهگاهی ذوب‌ریزی انجام می‌شود. سپس قطعات ریخته شده به قسمت تخلیه منتقل می‌شوند. در این قسمت ماسه‌های سطوح خارجی و داخلی دیگ تخلیه می‌شود و به قسمت سنگزنی منتقل می‌شود تا سطح جدایش قطعات سنگ زده و پلیسه زدایی شود. جهت دستیابی به کیفیت سطحی مطلوب پره‌های دیگ، در مرحله‌ای دیگر، شات بلاست می‌شوند. تمامی پره‌ها در آخرین مرحله مورد تست هیدرو استاتیکی واقع می‌شوند. شکل ۲-۱ نمودار گردش^a کار برای تولید دیگ‌های حرارت مرکزی را نمایش می‌دهد.

^a PFC: Process Flow Chart



شکل ۲-۱: نمودار گردش کار فرآیند تولید پره های دیگ

۲-۱-۱-۲- تبیین وضعیت موجود در کارگاه ماهیچه گیری

برای تولید ماهیچه ها از ماسه موسوم به M20 با عدد ریزی ۲۰ استفاده می شد. در تهیه^۱ مخلوط ماسه ماهیچه گیری از چسب ترمو شوک به اندازه ۲.۴٪ وزنی استفاده میشود. به اندازه ۰.۲٪ نیز هاردنر به آن افزوده می شود. با پخت ماهیچه در درجه حرارت های پایین (۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد) به استحکام خام^۱ ماهیچه اضافه می شود و در درجه حرارت های بالای ریخته گری استحکام خود را از دست داده و به سادگی تخلیه می شود.

در کارگاه ماهیچه گیری از دستگاه هانسبرگ برای قالبگیری ماهیچه ها استفاده می شود. در این دستگاه تای رویی ثابت و تای زیری متحرک بوده و پس از هر بار قالبگیری تعویض می شود. با قرار گرفتن و جفت شدن تای رو برروی تای زیر، دستگاه با فشار ۵ الی ۶ بار ماسه را به داخل جعبه ماهیچه شوت می کند، سپس تای رو از تای زیر جدا شده و ماهیچه در داخل تای زیر به کوره منتقل می شود. جدول ۱-۲ زمان و دمای مورد نیاز جهت پخت ماهیچه^۱ هر یک از پره ها را نشان می دهد.

^۱ . Green Strength

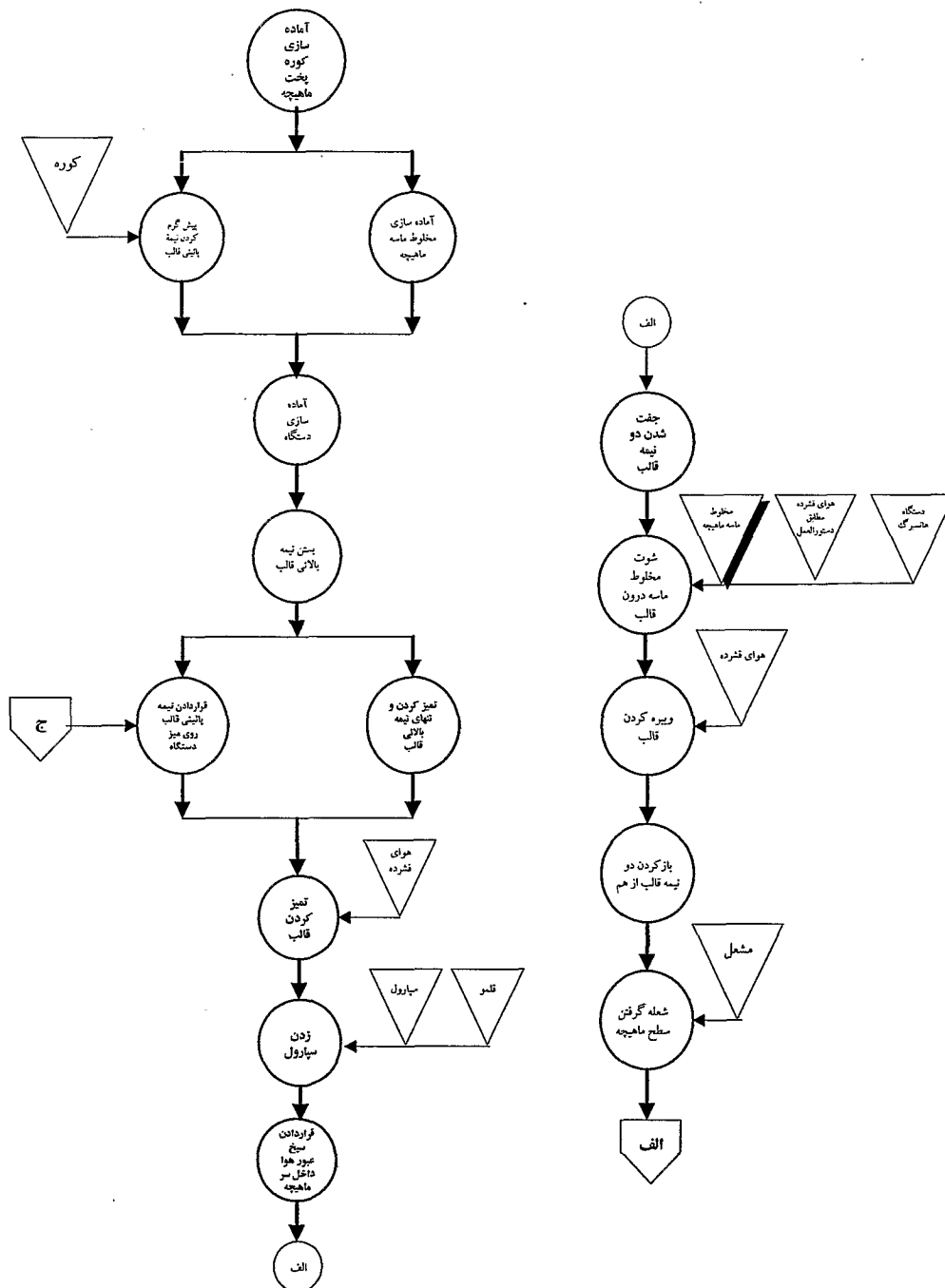
جدول ۱-۲: زمان و دمای مورد نیاز جهت پخت ماهیچه* هر یک از پره ها

نوع پره	زمان پخت (دقیقه)	دمای پخت (درجه سانتیگراد)
در جلو GG	۲۰	۲۵۰
پره وسط GG	۲۰	۲۵۰
در عقب GG	۲۵-۲۸	۲۷۰-۳۰۰
در جلو GGG	۲۵-۲۸	۲۷۰-۳۰۰
پره وسط GGG	۲۵-۲۸	۲۷۰-۳۰۰
در عقب GGG	۳۰-۳۵	۳۰۰-۳۵۰
در جلو TGG	۳۵-۴۰	۳۴۰-۳۷۰
پره وسط TGG	۳۰	۳۵۰
در عقب TGG	۳۰	۳۵۰
پره PGG	۲۰	۲۰۰-۲۵۰

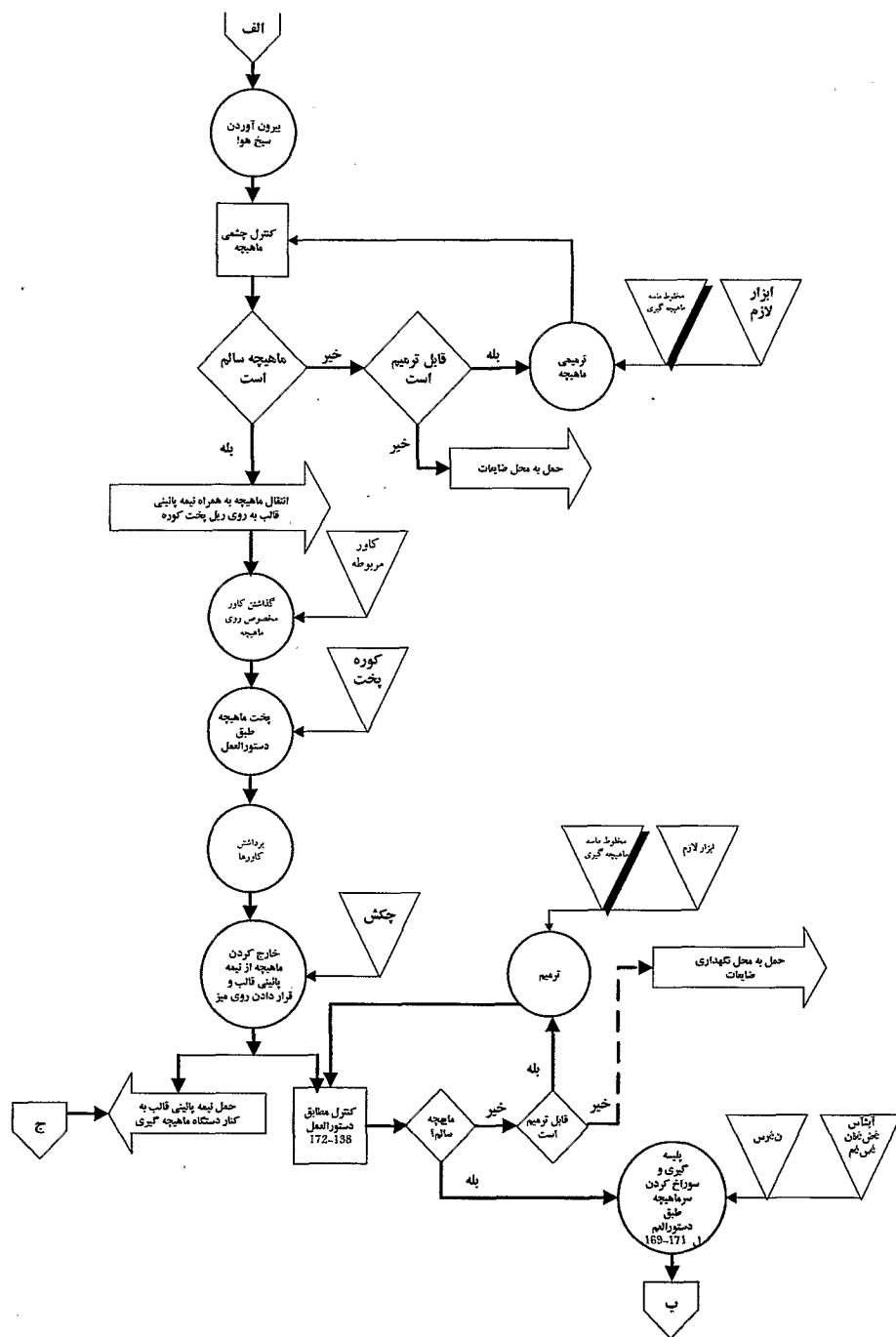
جعبه ماهیچه های مورد استفاده غالباً فرسوده بوده و لذا دقت ابعادی پایینی داشتند و درست بر روی تای رو
 یی جفت نمی شدند. در نتیجه برای پر کردن کامل قالب به فشار بیشتری نیاز بود. ضایعات این قسمت در
 مجموع در حدود ۴ الی ۵ درصد بود. که عمدتاً ۲ تا ۳ درصد حین تولید و ۱ تا ۲ درصد حین انبارش و انتقال
 به خط تولید اتفاق می افتد. ضایعات این قسمت به دو صورت بود:

۱- شکست ماهیچه و ۲- شکل نا مناسب و ناقص ماهیچه.

شکل ۲-۲ (الف و ب)، نمودار گردش کار فرآیند ساخت ماهیچه پره های دیگ را نمایش می دهند.



شکل ۲-۲ (الف) : نمودار گردش کار فرآیند ساخت ماهیچه پره دیگ



شکل ۲-۲ (ب): نمودار گردش کار فرآیند ساخت ماهیچه پره دیگ

۲-۱-۱-۳- تبیین وضعیت موجود در کارگاه قالبگیری

برای قالبگیری پره های دیگ از ماسه با عدد ریزی ۴۵-۶۵ (مطابق استاندارد AFS) استفاده میشود. در تهیه مخلوط ماسه قالبگیری پره دیگ از چسب سیلیکات سدیم با ریشیو^a (SiO_2) ۲ به (Na_2O) ۱ استفاده میشود. که به مقدار ۵ تا ۷ درصد وزنی به ماسه افزوده می شود. از آنجاییکه در دستگاه میکسر ماسه پیمانه مناسبی جهت افزودن چسب به میزان معین موجود نبود، میزان چسب افزوده شده به ماسه به صورتی تجربی انجام میشد و در نتیجه با خطای زیادی همراه بود. جهت سهولت تخلیه ماسه پس از ذوبریزی و افزایش قابلیت عبوردهی گاز^b قالب ماسه ای، به مخلوط ماسه در حدود ۱٪ خاک اره نیز افزوده می شود.

قالبگیری در کارگاه به روش دستی و با سیستم Jolt-Squeeze صورت می گیرد. برای افزایش استحکام قالب مفتولهایی فولادی را در داخل قالب ماسه ای قرار میدهند که قانجاق نامیده میشود. از کپسولهای گاز CO_2 جهت خشک کردن قالبها استفاده میشود. زمان گازدهی بنا به فشار کپسول مصرفی تغییر می کند لذا با توجه به عدم ثبات دبی گاز، نمی توان زمان گازدهی را به صورت ثابت و معین تعریف کرد.

مدلهای مورد استفاده در قالبگیری دیگها بسیار فرسوده و کهنه هستند و در اکثر موارد دقت ابعادی مناسب را ندارند. در نتیجه حین مونتاژ قالبها معمولاً سر ماهیچه ها درجای مناسب و با وضعیت مطلوب قرار نمی گرفتند و امکان بیرون زدن ذوب از کناره های سر ماهیچه ها (تکیه گاه ماهیچه روی قالب) وجود داشت.

^a Ratio

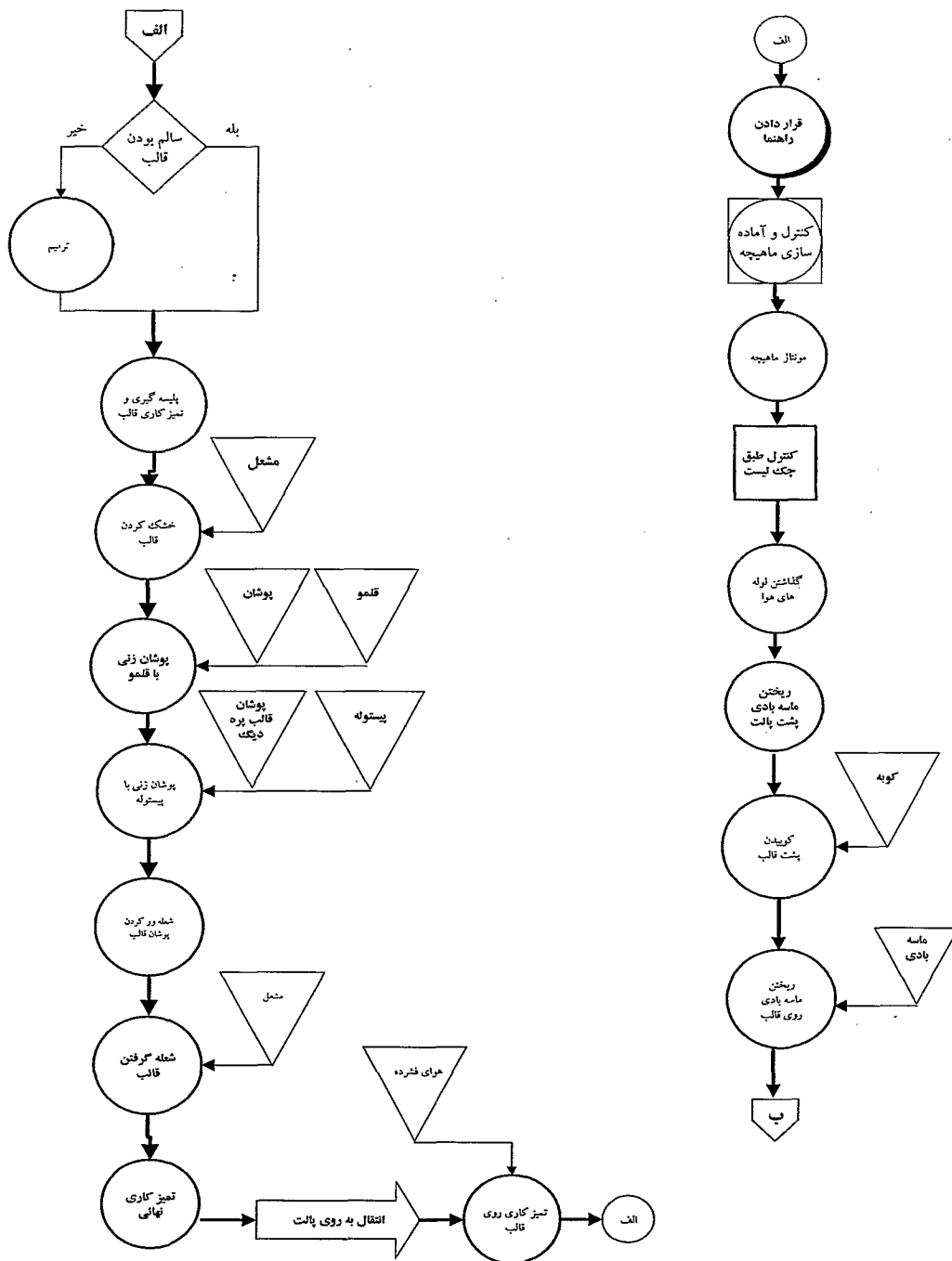
^b Permeability

پس از قالبگیری پره ها ، قالبها کاملاً زنگ زده میشوند که از رنگ موسوم به PR9 و با بومه ۲۰ تا ۲۲ استفاده می شود. قالبها را پس از رنگ زدن شعله ور می کردند و پس از خاموش شدن شعله مونتاژ میشدند. در مرحله مونتاژ، ابتدا ماهیچه هایی که چپلت گذاری شده اند را در یک تای قالب قرار می دهند و سپس تای رو را جفت می کنند. در هر مرحله با دقت زیاد باید داخل قالب باد گرفته و عاری از ماسه و گرد و غبار شود. قالب ها را در دسته های ۳، ۴ و یا ۵ تایی، بسته به نوع پره، در داخل پالتهایی مخصوص قرار می دهند و پس از نصب حوضچه بارریزی، روی سیستم راهگاہی، که با ماسه CO₂ قالبگیری می شود، ذوبریزی انجام می شود.

ضایعات قالبگیری معمولاً بین ۵ تا ۱۰ درصد متغیر می باشد و عمده ضایعات در قسمت قالبگیری به دلیل شکستگی قالب ها، پوکی و استحکام کم قالبها می باشد.

ذوبریزی پره ها به صورت دستی و با پاتیل های ۱ تنی، که توسط جرثقیلی سقفی هدایت می شود، انجام می گیرد. با توجه به فاصله ای که برای انتقال ذوب از کوره به قسمت ذوبریزی وجود دارد و کاهش دما در حین ذوبریزی، اولویت ذوبریزی با قطعات کوچکتر و با ضخامت دیواره کمتر می باشد. رنج دمایی که اپراتورها مجاز به ذوبریزی می باشند، بین ۱۲۸۰ و ۱۳۲۰ درجه سانتیگراد تعریف شده است و از آنجاییکه اپراتور از داشتن ترموکوپل محروم است، با کنترلی چشمی و به صورت تجربی در مورد شروع و خاتمه ذوبریزی تصمیم میگیرد.

شکل ۲-۳ (الف و ب)، نمودار گردش کار فرآیند قالبگیری پره های دیگ را نمایش می دهند.

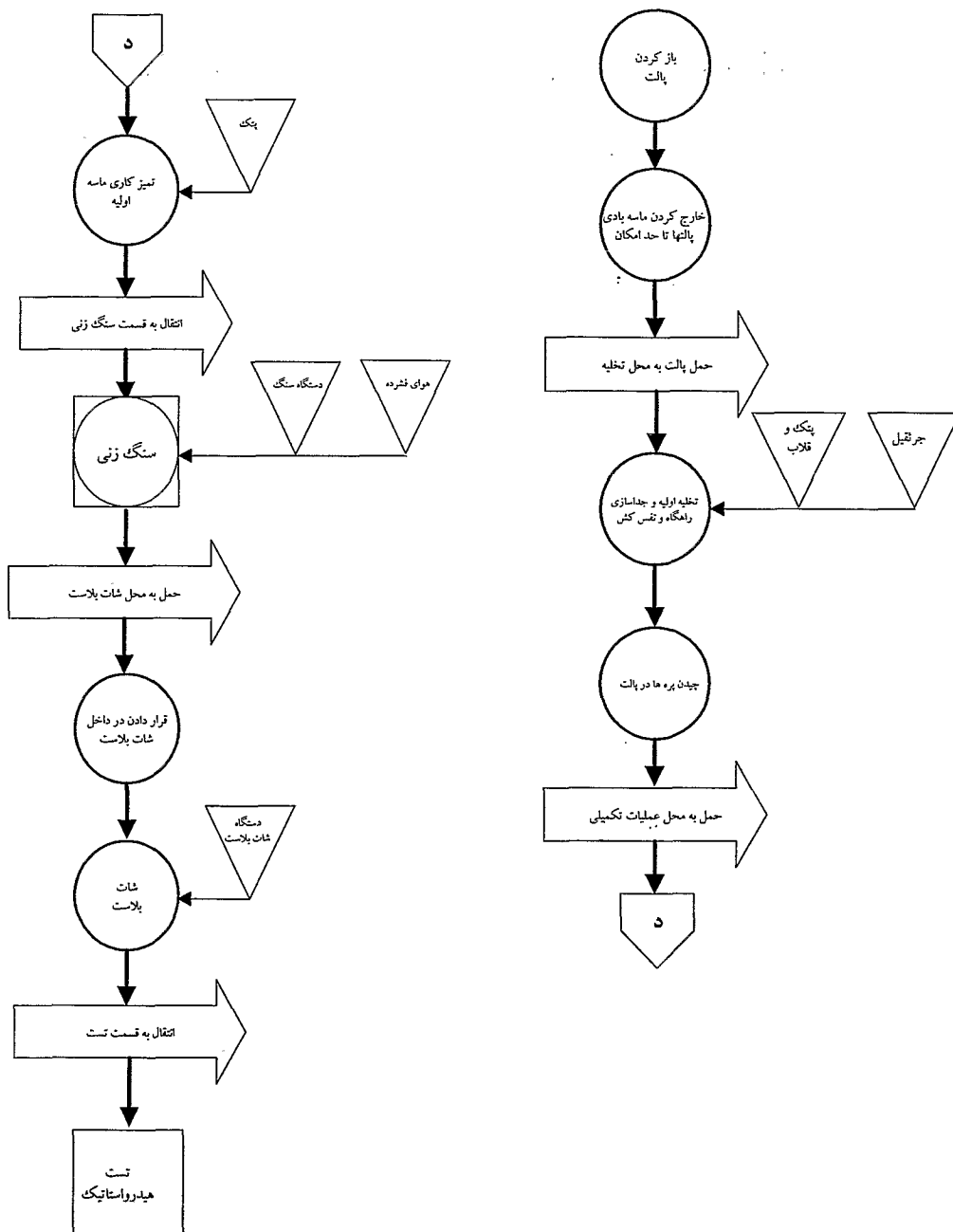


شکل ۲-۳ (ب): نمودار گردش کار فرآیند قالبگیری پره های دیگ

۲-۱-۱-۴- تبیین وضعیت موجود در کارگاه تکمیل

در این قسمت پزه های ریخته شده توسط پتک از ماسه تمیز می شوند و همچنین سعی می شود تا ماسه داخل دیگ، که از انهدام ماهیچه ایجاد شده، تخلیه گردد. مذاب منجمد شده در قسمت سیستم راهگاهی و نفس کشها شکسته می شوند. سپس دیگها به داخل دستگاه شات بلاست منتقل می شوند. در قسمت تکمیل، یک مرحله بازرسی کنترل کیفیت چشمی انجام میگردد و دیگهایی که عیوب قابل تشخیص با چشم غیر مسلح دارند، جدا شده و سایر دیگها به قسمت تست هیدرو استاتیک منتقل می شوند. در این قسمت نیز دیگهایی که بدنه آنها عیبی راه بدر دارد به عنوان ضایعات محسوب می شوند.

دو شکل ۲-۴ (الف و ب) نمودار گردش کار عملیات تکمیلی پزه های دیگ را نشان می دهند.



ب

الف

شکل ۲-۴ نمودار گردش کار عملیات تکمیلی پره های دیگ

۲-۱-۲- بررسی متالورژیکی پره های دیگ

پره های دیگ از جنس چدن خاکستری با آنالیز GG15 مطابق استاندارد DIN ریخته گری می شوند. ترکیب شیمیایی پره های دیگ منطبق با آنالیز چدن در نقطه^۶ یوتکتیک می باشد. جدول ۲-۲ ترکیب شیمیایی چدن دیگ ها را نشان می دهد. چدن خاکستری به لحاظ انتقال حرارت به دلیل ورقه های گرافیت بسیار برای کاربردهایی نظیر دیگ های شوقاژ مناسب می باشد. خواص مکانیکی و فیزیکی در چدن های خاکستری با شکل، اندازه، میزان و توزیع ورقه های گرافیت کنترل می شود. با افزایش میزان گرافیت به شکل آزاد و با ضخیم تر و بلندتر شدن ورقه های گرافیت انتقال حرارت در چدن های خاکستری افزایش می یابد [۷]. جدول زیر تغییرات خواص فیزیکی چدن خاکستری با استحکام را نشان می دهد. ملاحظه می شود که با افزایش انتقال حرارت استحکام چدن افت می کند.

جدول ۲-۲: ترکیب شیمیایی دیگ های چدنی با آنالیز GG 15

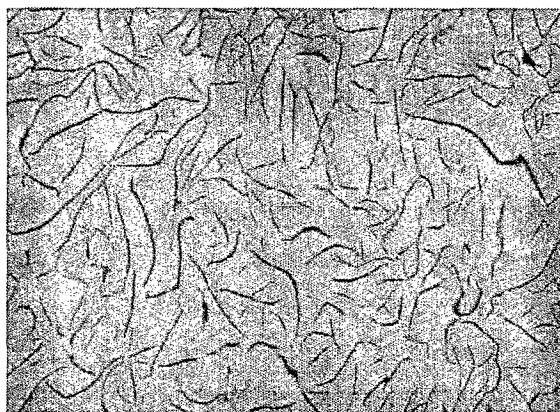
% S	% P	% Mn	% Si	% C	% Fe
0.05-0.15	Max 0.2	0.3-0.8	2.1-2.6	3.4-3.7	Balance

جدول ۲-۳: جدول خواص فیزیکی برحسب استحکام در چدن های خاکستری

Tensile strength		Density(ρ)		Thermal conductivity at indicated temperature, W/m.K(h)			Electrical resistivity
MPa	ksi	g/cm ³	lb/in. ³	100 °C (212 °F)	300 °C (572 °F)	500 °C (932 °F)	at 20 °C (68 °F), $\mu\Omega\text{-in}(c)$
150	22.0	7.05	0.255	65.7	53.3	40.9	0.80
180	26.0	7.10	0.257	59.5	50.3	40.0	0.78
220	32.0	7.15	0.258	53.6	47.3	38.9	0.76
260	38.0	7.20	0.260	50.2	45.2	38.0	0.73
300	43.5	7.25	0.262	47.7	43.8	37.4	0.70
350	51.0	7.30	0.264	45.3	42.3	36.7	0.67
400	58.0	7.30	0.264	43.5	41.0	36.0	0.64

انتقال حرارت کم در مورد دیگ ها می تواند منجر به ترک خوردگی در حین کار شود. چرا که دمای قسمتی که شعله^a مستقیم مشعل با آن در تماس است به طور موضعی بالا می رود و در آن قسمت تنش های حرارتی^a منجر به ترک خوردن مقطع دیگ می شوند. از طرفی تولید دیگ هایی با انتقال حرارت بالا استحکام مکانیکی کمی خواهند داشت که این مسئله نیز می تواند به کاهش عمر پره های دیگ بیانجامد.

در تولید پره های دیگ سعی می شود تا چدن خاکستری با گرافیت های نوع A تولید شوند. در این نوع، ورقه های گرافیت به صورت کاملاً تصادفی توزیع و جهت دهی می شوند. شکل زیر تصویر این نوع گرافیت را نشان می دهد که با متالوگرافی مقطع دیگ تهیه شده است.



شکل ۲-۵: مقطع متالوگرافی دیگ با گرافیت های نوع A در بزرگنمایی ۱۰۰ پس از پولیش

ساختار میکروسکوپی این چدن معمولاً حاوی حداکثر ۴۰ درصد فریت و ۶۰ درصد پرلیت می باشد و گرافیت های آن همانطور که از شکل ۲-۵ بر می آید از نوع ورقه ای A می باشد. استحکام نهایی این

^a Thermal Stresses

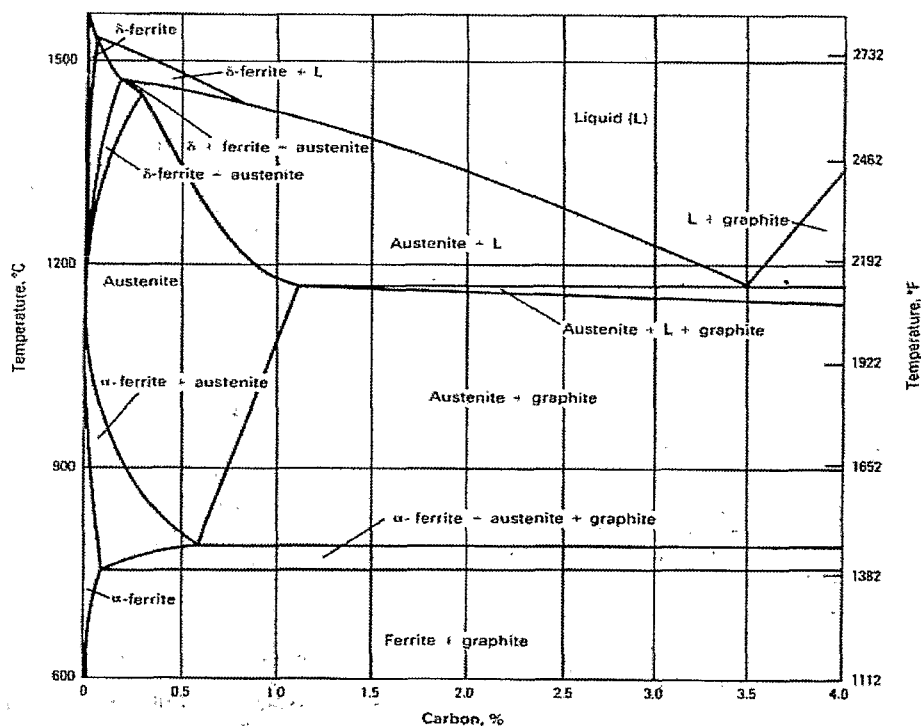
چدن در محدوده ۱۵۰ تا ۲۵۰ N/mm² می باشد. با توجه به جدول ۲-۳ می توان در مورد انتقال حرارت این چدن اظهار نظر نمود.

کربن معادل این ترکیب از رابطه زیر بدست می آید [۵]:

$$\%C_{equi.} = \%C + \frac{\%Si + \%P}{3} = 3.5 + \frac{2.4}{3} = 4.3$$

در نتیجه کربن معادل قطعات دیگ حدود ۴/۳ خواهد بود. با توجه به نمودار آهن کربن شکل ۲-۶ می توان قضاوت کرد که مذاب چدن قطعات دیگ انجماد یوتکتیکی را تجربه خواهند کرد. این نمودار در

میزان ۲/۵ درصد سیلیسیم رسم شده است [۷].



شکل ۲-۶: نمودار آهن کربن در ۲/۵ درصد سیلیسیم

فصل سوم

فاز اندازه گیری

Measure

۳-۱- مقدمه

فاز دوم در انجام این پروژه اندازه گیری میزان تکرار و تأثیر گذاری هر یک از عیوب بررسی شده بود. از این طریق آمار تولید به صورتهایی که قابل تحلیل باشد و مسیر حرکت های بعدی را مشخص کند، تبدیل گردید. یکی از بهترین روشهای پردازش و اندازه گیری آمار در مواردی مشابه، استفاده از نمودار های پارتو می باشد.

آلفردو پارتو^a (۱۸۴۸-۱۹۲۳)، جامعه شناس ایتالیایی، مطالعات گسترده ای را بر توزیع ثروت در اروپا انجام داد. او متوجه شد که تعداد کمی از مردم ثروت هنگفتی دارند و بسیاری از مردم فقیر و بی چیز هستند. این توزیع نا متعادل ثروت در جامعه یکی از ارکان نظریه های اقتصادی را تشکیل داد. بعد ها آقای دکتر جوران^b از پیشگامان علم کیفیت در جهان از این اصل استفاده کرد و آن را در حوزه های گوناگون بسط داد.

نمودار های پارتو برای شناسایی مهمترین مشکلات به کار می رود. طبق اصل پارتو بیان می شود که معمولاً ۸۰ درصد مشکلات از ۲۰ درصد موارد ناشی می شوند. در این پروژه نیز جهت شناسایی مهمترین عوامل تأثیر گذار در میزان ضایعات از نمودار های پارتو استفاده شد [۸].

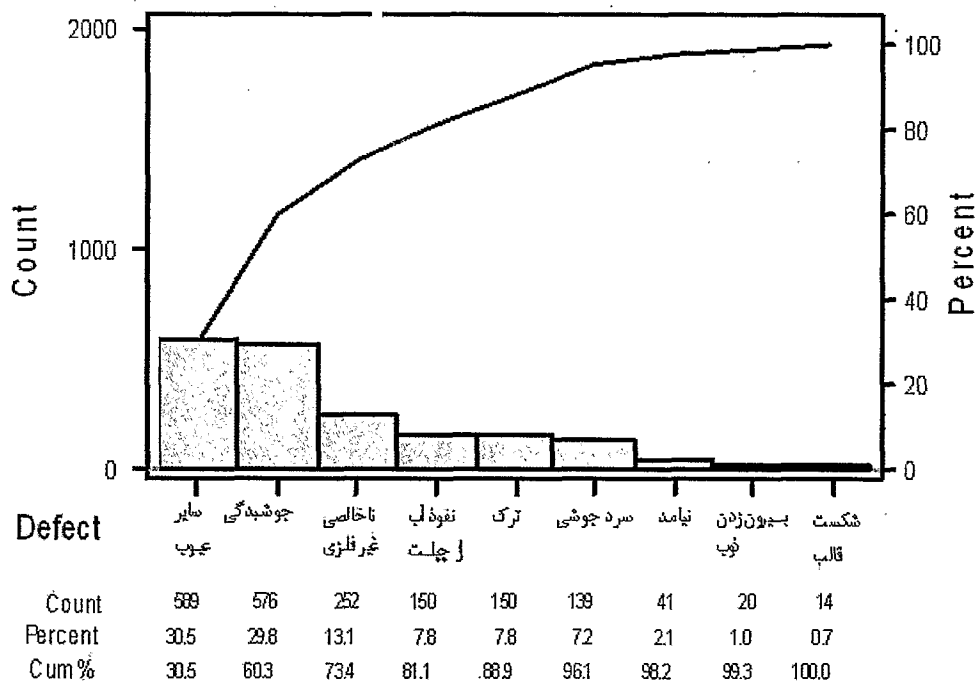
۳-۲- نمودار پارتو بر حسب عیوب موجود

ترسیم نمودار های پارتو در مورد عیوب شایع در خط تولید از اولین اقداماتی بود که در این مرحله از پروژه به انجام رسید. شکل ۳-۱ تصویری از نمودار پارتو تکرار هر یک از عیوب در ماه های فروردین، اردیبهشت و خرداد می باشد.

^a Alfredo Pareto

^b Josef Juran

نمودار پارتو برای عیوب ریخته گری از فروردین الی خرداد 83



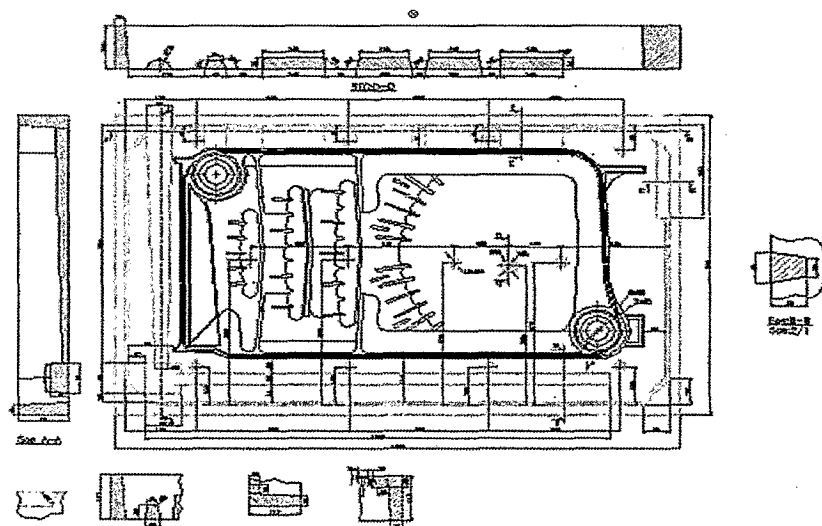
شکل ۳-۱: نمودار پارتو عیوب از فروردین تا خرداد ۸۴

این نمودار به خوبی شرایط غیر نرمال تولید و وضعیت غیر قابل اطمینان آمار تولید را مشخص می کرد. چه بیش از ۳۰ درصد ضایعات از موردی ناشی می شود که برای پرسنل نا شناخته بود (سایر عیوب) و اصولاً هیچ فردی به عنوان مهندسی کیفیت و مسئول کاهش ضایعات ریخته گری، با استناد به این آمار نمی توانست ارژئه هر گونه راهکار بهبودی داشته باشد.

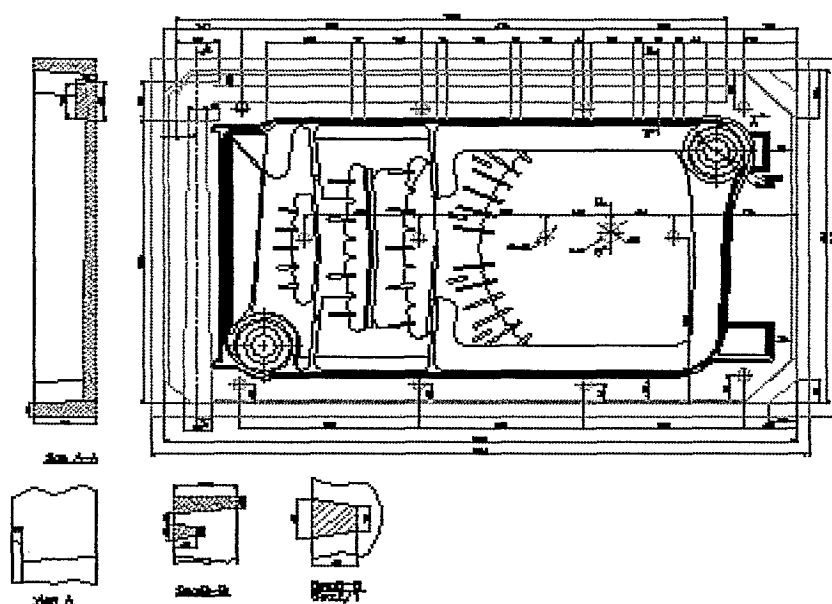
۳-۳- ترسیم نقشه دقیق مدلها به همراه سیستم راهگای آنها

در مرحله اندازه گیری، از جمله مواردی که به دقت مورد بررسی قرار گرفت مدلها و سیستم راهگای تعیبه شده بود. متأسفانه شرکت با مشکلات بسیاری به دلیل نبود هیچ گونه نقشه مرجع از مدلها

مواجهه شده بود. چرا که هیچ سیستم و رویه ای جهت تطبیق و ثبت کلیه تغییرات و اصلاحاتی که در طول دوران مختلف بر مدلها و سیستمهای راهگاهی آنها اعمال شده بود، وجود نداشت. قسمت های مختلفی از مدل ها دستخوش تغییرات در ابعاد و ضخامت های مختلف شده بودند و حال آن که هیچ مستند و مدرکی دال بر دلیل و نتایج تغییرات اعمالی موجود نبود. در تعمیرات اساسی که هر از گاه بنا به ضرورت روی مدلها صورت می گرفت، قسمتهایی از مدل که از نظر ضخامت تغییر می کرد، مشکلاتی را در تولید ایجاد می کرد- مانند نازکی بدنه و نیامد کردن قسمتی از قطعه- که اصلاح آن نیاز مند توقف خط تولید و تحمل ضایعات بالا به صورت موقتی بود. بدین ترتیب نقشه تمامی مدلهای پره ها به همراه سیستم راهگاهی و کلاف قالبگیری آنها با نرم افزار Auto CAD ترسیم گردید و از آن پس هر تغییری روی مدل و سیستم راهگاهی با توجه به نقشه و ابتدا روی نقشه مربوطه اعمال شد. بدین صورت تمامی تغییرات قابل ثبت و استناد شدند. تصویر ۲-۳ زیر نمونه هایی از نقشه های تهیه شده می باشند.



الف



ب

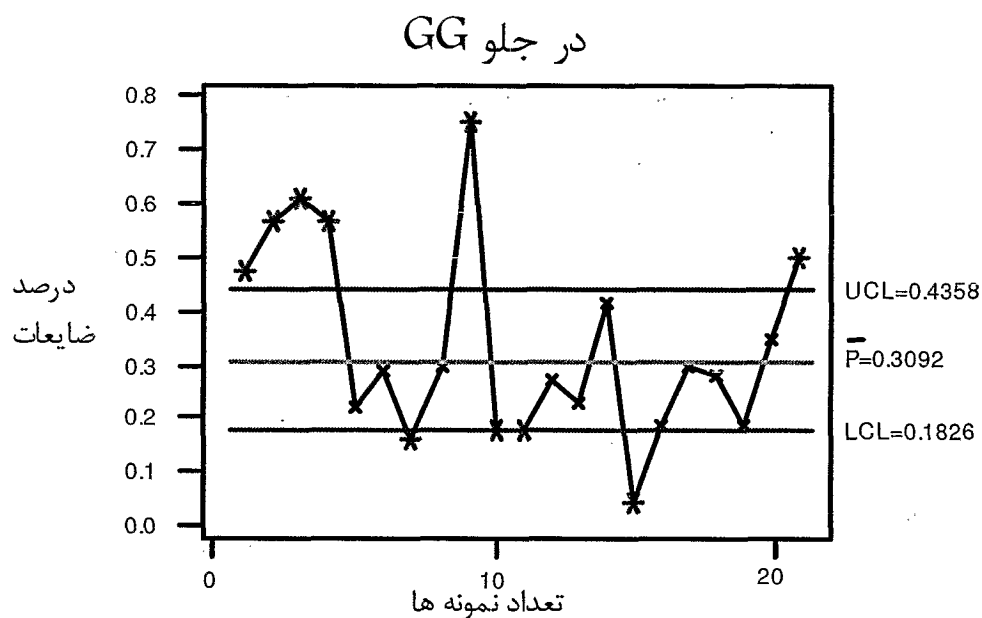
شکل ۲-۳: نقشه تهیه شده از مدل تای زیر پره وسط TGG

۳-۴- بررسی وضعیت کلی آمار تولید- ضایعات

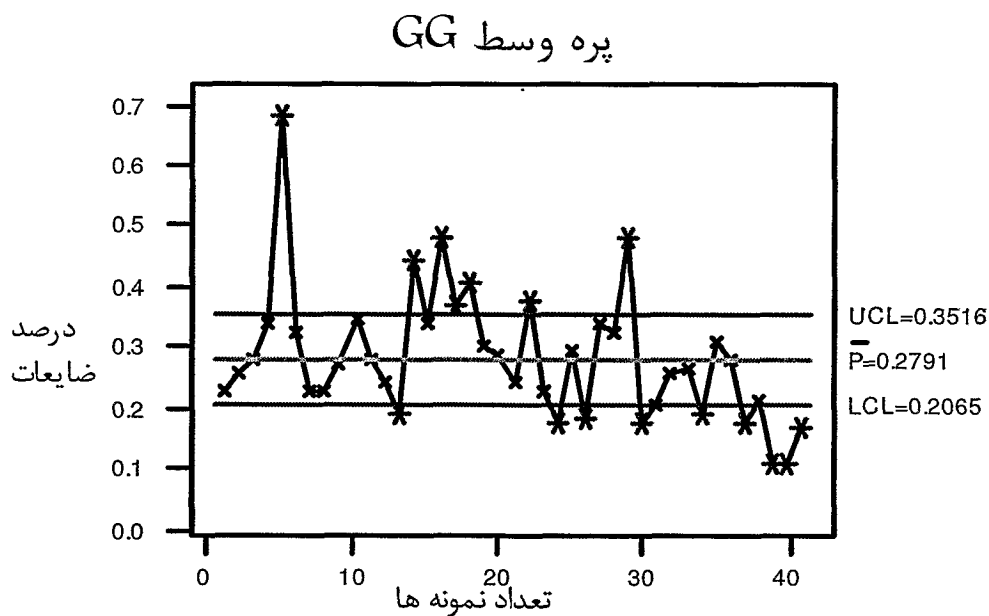
با جمع آوری و پردازش اطلاعات موجود تولید- ضایعات از سال ۱۳۷۸ تا کنون مشخص گردید که میانگین ضایعات در مجموع (در پره های دیگ GG, GGG, TGG) ۲۶ درصد بوده است. از مجموع ۵۶۱۵۸ پره تولیدی ۱۴۴۸۷ پره معیوب بوده و به کوره نوب مجدداً باز گردانده شده اند.

۳-۴-۱- آمار تولید- ضایعات بر حسب هر پره

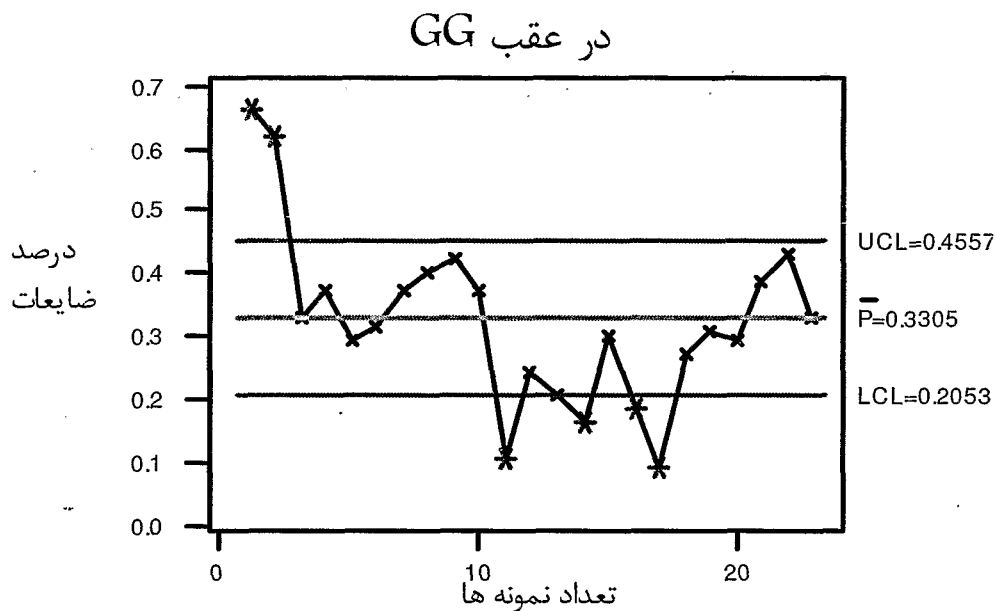
بررسی روند کلی تولید در مورد هر پره از جمله اطلاعاتی بود که در پیشبرد امور بسیار مثمر ثمر واقع شد. از نمودار P Chart برای بررسی روند تولید، میانگین سطح کیفیت، و تعیین حدود کنترل بالا و پایین هر پره به طور مجزا استفاده شد. از نمودار کنترلی P در مواردی استفاده می شود که کیفیت کمیت مورد بررسی نسبی بوده یا به عبارتی قابل اندازه گیری نباشد و انطباق یا عدم انطباق محصول با الزامات محصول مورد بررسی باشد [۸]. برای مثال در مورد دیگ ها صحبت از مقدار یا اندازه ضایعات کاملاً بی معنی است. در این نمودار ها P^- کسر میانگین ضایعات هر یک از محصولات در بازه های زمانی یک ماهه تولید می باشد. نمودار های زیر بر اساس آمار موجود از تولید هر یک از پره ها در بازه های زمانی یک ماهه از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳ تهیه شده اند.



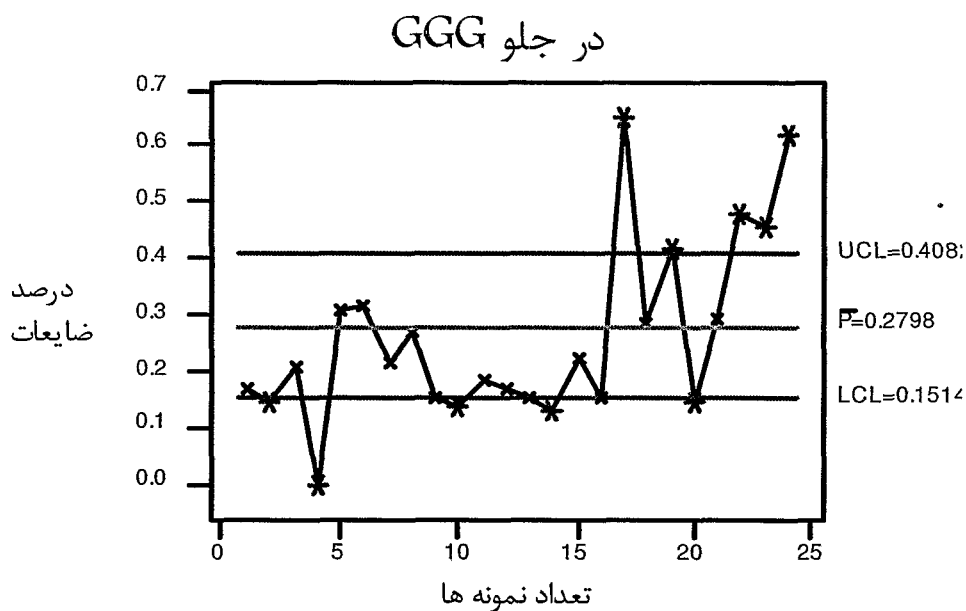
شکل (الف) ۳-۳: نمودار P-Chart تولید- ضایعات پره در جلو GG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳



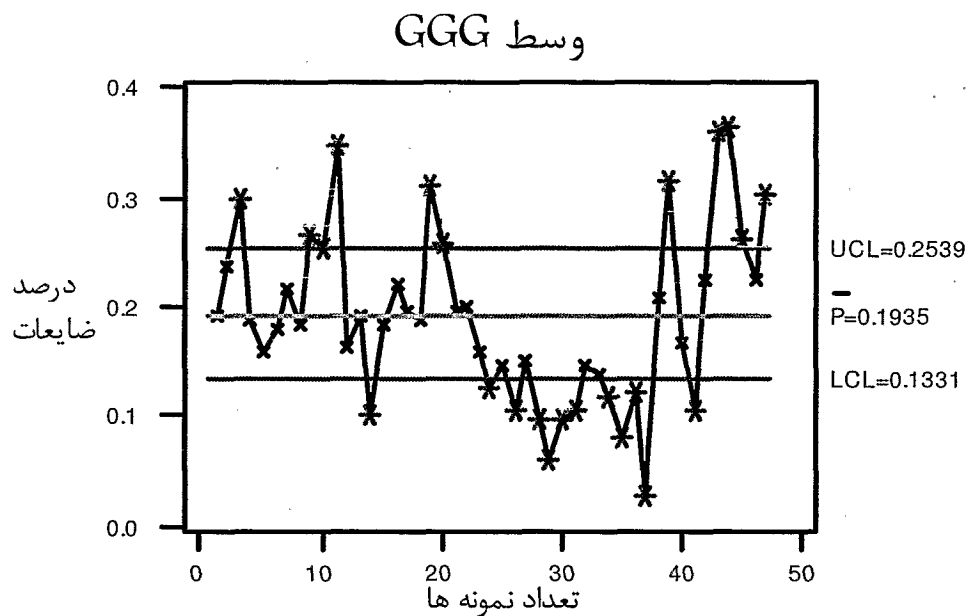
شکل (ب) ۳-۳: نمودار P-Chart تولید- ضایعات پره وسط GG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳



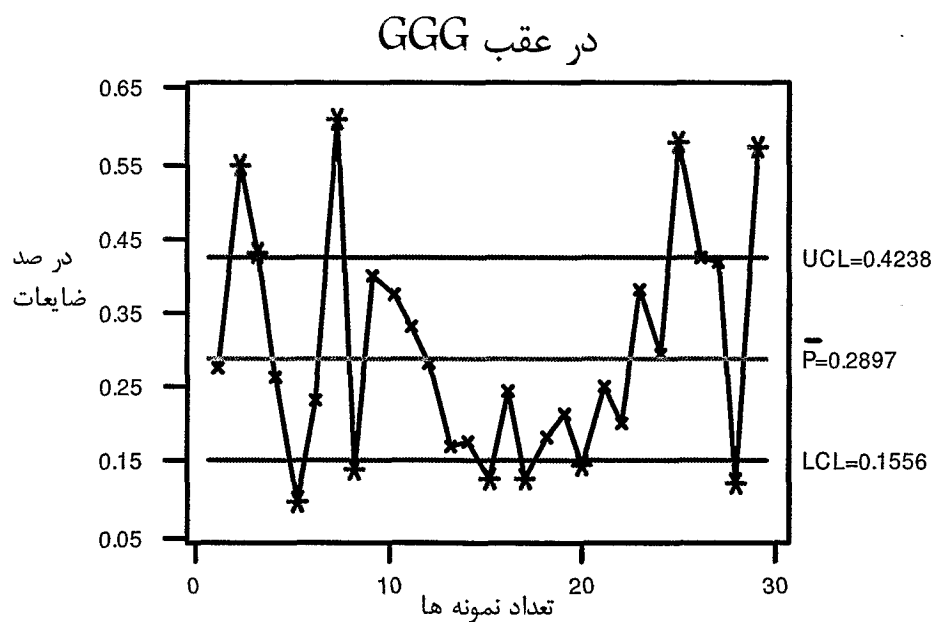
شکل (ج) ۳-۳: نمودار P-Chart تولید- ضایعات در عقب GG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳



شکل (د) ۳-۳: نمودار P-Chart تولید- ضایعات در جلو GGG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳

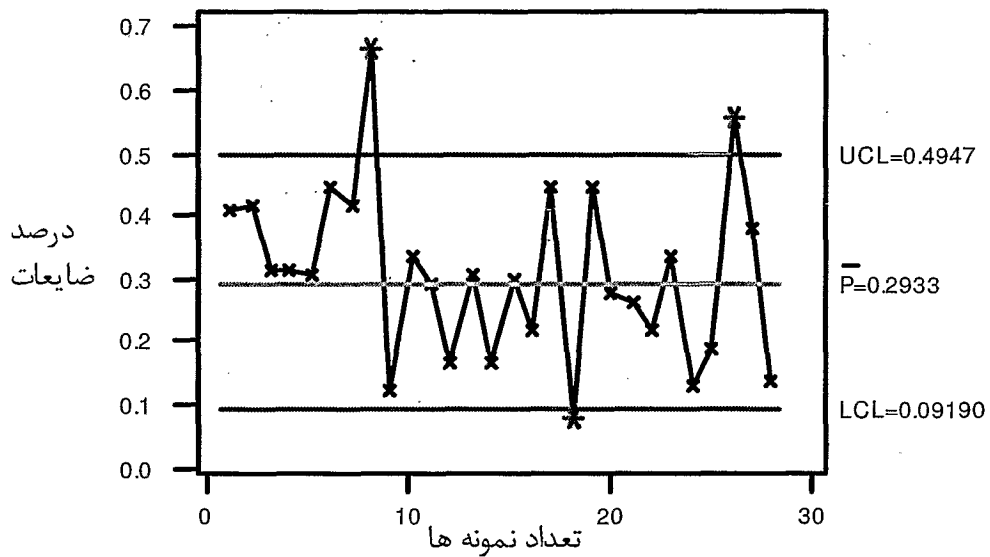


شکل (ه) ۳-۳: نمودار P-Chart تولید- ضایعات پره وسط GGG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳



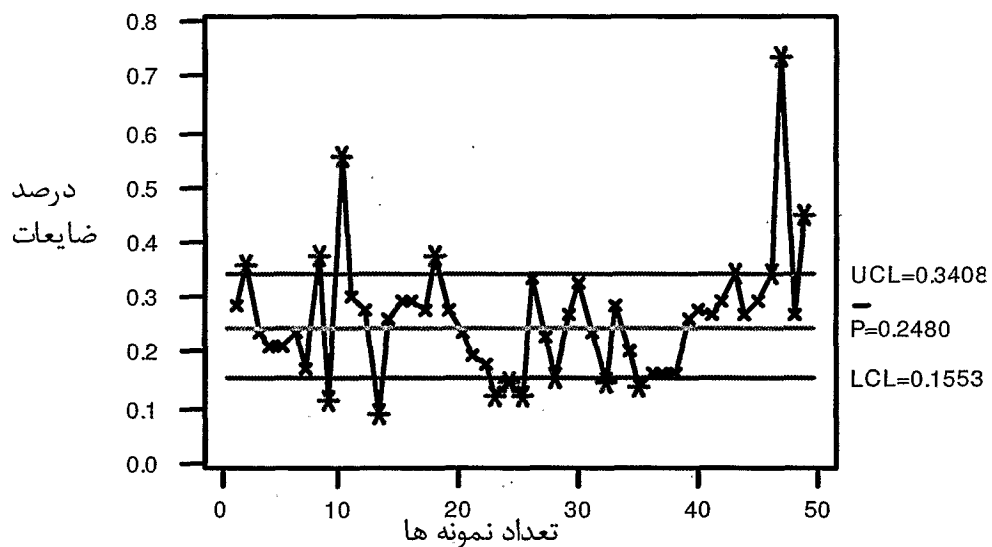
شکل (و) ۳-۳: نمودار P-Chart تولید- ضایعات در عقب GG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳

در جلو TGG

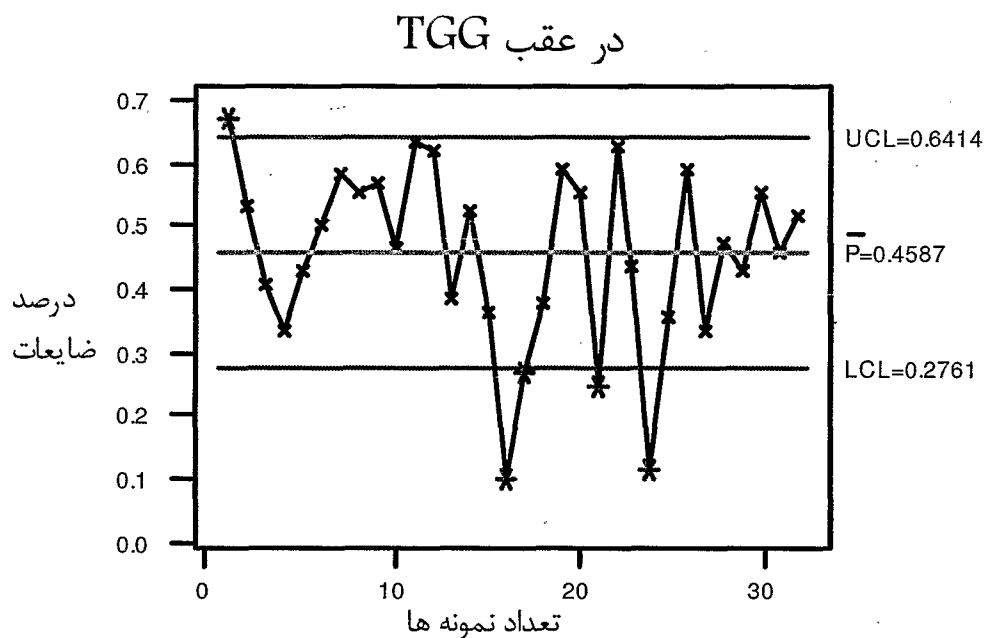


شکل (ز) ۳-۳: نمودار P-Chart تولید- ضایعات در جلو TGG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳

وسط TGG



شکل (ح) ۳-۳: نمودار P-Chart تولید- ضایعات پره وسط TGG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳



شکل (ط) ۳-۳: نمودار P-Chart تولید- ضایعات در عقب TGG از سال ۱۳۷۸ تا آذر ۱۳۸۳

۳-۵- بررسی نوع ضایعات مشاهده شده؛ انواع عیوب

عیوبی که در زمان آغاز پروژه در محصولات شرکت ایزفو مشاهده میشد، شامل عیوب زیر می شد:

- عیوب گازی (جوشیدگی)

- نا خالصیهای غیر فلزی

- نا خالصیهای فلزی

- ترک ضربه

- نفوذ آب از چپلت

- نیامد و کم آمد

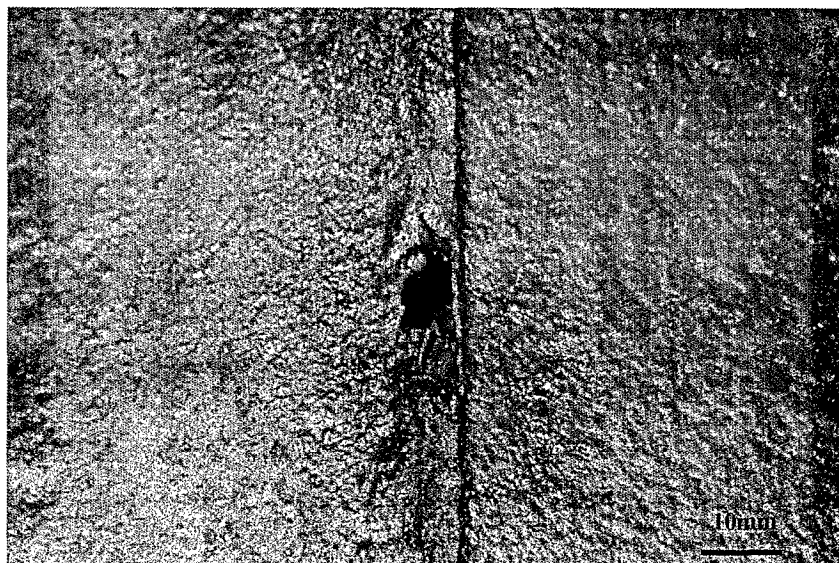
- سرد جوشی

- بیرون زدن نوب از قالب

- عدم دقت ابعادی قطعه ریخته شده

۳-۵-۱- عیوب گازی (جوشیدگی)

عیوب گازی_ که در بین کارکنان شرکت ایرفو به جوشیدگی معروف بود- از جمله مواردی بود که به شدت در میزان ضایعات شرکت ایرفو مؤثر بود. عدم امکان خروج گاز ماهیچه ، ایجاد گاز زیاد از ماهیچه ، جذب بالای رطوبت توسط ماهیچه و قالب، قابلیت پایین عبور دهی گاز توسط ماسه ماهیچه از جمله عواملی بودند که به شدت در میزان وقوع عیوب گازی مؤثر بودند. مکهای گازی ، که در میان کارکنان شرکت ایرفو به جوشیدگی معروف است، عموماً در سطوح بالایی دیگها اتفاق می افتند و در صورتیکه راه به در باشند، دیگ مربوطه نامنطبقِ مردود تلقی می شود. تصاویر زیرنمونه هایی از جوشیدگی هستند که منجر به ضایعات شدن قطعه شده اند. سطح کاملاً گرد و هموار نشانه ای گویاست جهت شناسایی این عیب.



شکل (الف) ۳-۴ : تصویر ی از جوشیدگی که در سطح بالایی قطعه رخ داده است.



شکل (ب) ۳-۴: تصویری از جوشیدگی که در سطح بالایی قطعه رخ داده است.

۳-۵-۲- ناخالصیهای غیر فلزی

با توجه با این نکته که در پروسه تولید اکثر کارها با دست انجام میشود، امکان تمیز کردن داخل قالب از گرد و غبار و ماسه و ناخالصی در تمامی مراحل میسر نمی باشد. ریزش ماسه در داخل قالب، تجمع پوشان قالب در یک محل، ماسه شویی در اثر جریان مذاب درون قالب، ورود آخال و ناخالصی از سرباره ذوب از جمله عوامل مؤثر در ایجاد این عیب می باشد. تشخیص این عیب به سادگی عیوب دیگر نیست و نیاز به شکستن مقطع معیوب و بررسی دقیقتر مقطع می باشد. با توجه به این نکته که عیب ممکن است در اثر عوامل مختلفی که ذکر شد ایجاد شده باشد، لذا برای اظهار نظر در مورد نوع ناخالصی باید ناخالصی های موجود در محل عیب تخلیه شده و مورد بررسی قرار گیرند. در موارد زیادی مشاهده شده که به دلیل قابلیت چسبندگی بالای این ناخالصیها چند

عامل توأماً به معیوب شدن قطعه منجر می شوند. تصاویر زیرنمونه هایی از ناخالصی های غیر فلزی هستند که منجر به ضایعات شدن قطعه شده اند. گفتنی است که این عیب در شرکت ایرفو به "آخال" یا ماسه ریزی معروف است.



شکل (الف) ۳-۵: تصویری از آخال که در سطح بالایی قطعه رخ داده است.

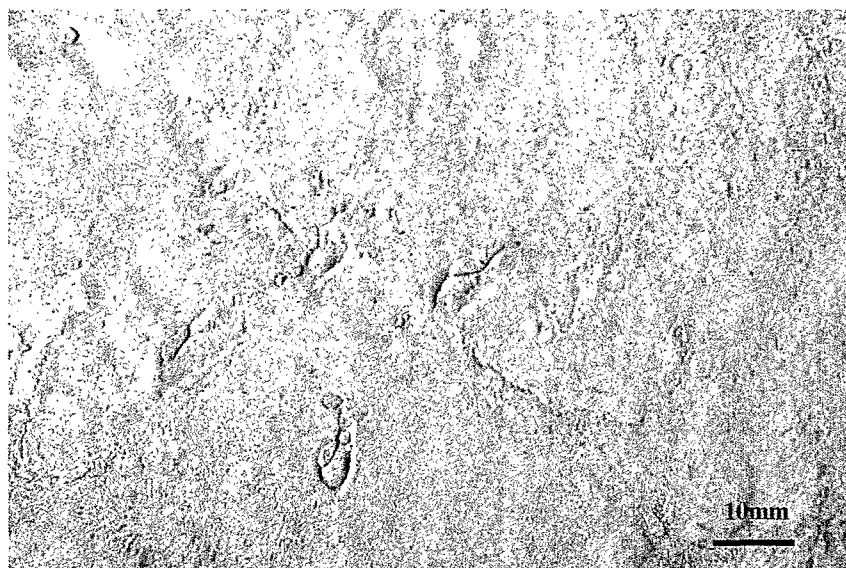


شکل (ب) ۳-۵: تصویری از ماسه ریزی که در سطح کناری قطعه رخ داده است.

۳-۵-۳- نا خالصیهای فلزی

در شرکت ایرفو ذوبریزی پره های دیگ با پاتیل هایی صورت میگیرد که توسط جرثقیل های سقفی جابه جا می شوند و توسط اپراتور هایی با مهارت خاص، که به جرثقیلچی معروفند، کنترل می شوند. در نتیجه توانایی و قابلیت جرثقیلچی در کنترل پاتیل ذوب، پارامتری بسیار مؤثر در صحت و سلامت ذوبریزی می باشد. مسئله دیگری که در شرکت ایرفو ذوبریزی را با مشکل مواجه می کند نقش جرثقیل و سالم بودن آن است. در این قسمت مشاهده می شود که به دلیل خراب بودن ترمز های جرثقیل، کنترل آن به سختی انجام می پذیرد. ذوبریزی یکنواخت و با نرخ بارریزی ثابت در سالم بودن قطعه مؤثر است.

در مورد پره های دیگ، از آنجاییکه چند پره در یک پالت کنار هم قرار داده می شود، ذوبریزی متلاطم می تواند منجر به ورود تکه هایی از مذاب به درون قطعه مجاور گردد. با انجماد تکه های وارد شده به قطعه کناری، با ذوبریزی آن قطعه تکه های از پیش منجمد شده دوباره ذوب نمی شوند و در داخل قطعه حبس می شوند. در مواردی که عدم نفوذ این تکه ها با ذوب قطعه رخ دهد قطعه آب بند نخواهد بود و بنا براین جزو ضایعات محسوب می شود. در شرکت ایرفو این عیب به عیب "ساچمه" معروف است. با توجه به این نکته که عمده راه ورود تکه های ذوب قسمت نفس کشها در بالای قطعه است، این عیب نیز در این قسمت بیشتر مشاهده می شود. در این قسمت نا خالصی فلزی به غیر از فلز زمینه (چدن خاکستری) مشاهده نشده است. تصاویر زیر نمونه هایی از ناخالصی های فلزی هستند که منجر به ضایعات شدن قطعه شده اند.



شکل (الف) ۳-۶ : تصویری از ساچمه که در سطح کناری قطعه رخ داده است.



شکل (ب) ۳-۶ : تصویری از ساچمه که در سطح بالایی قطعه رخ داده است.

۳-۵-۴- ترک^a

ترک در دیگها به دلیل ضربه های مکانیکی که حین تخلیه و جابه جایی به قطعات وارد میامد، ایجاد می شد. تکرار این عیب در مقایسه با سایر عیوب بسیار ناچیز بود و از آنجایی که ترکهای ایجاد شده بسیار مویی بودند با چشم غیر مسلح به سختی قابل تشخیص بودند و معمولاً در قسمت تست هیدرو استاتیک شناسایی می شدند.

۳-۵-۵- نفوذ آب از چپلت

یکی از مهمترین مسائلی که در مورد دیگ ها و ضایعات مربوطه مطرح بود عدم آب بند شدن چپلت های مورد استفاده برای حفظ فاصله بین ماهیچه و قالب بود. شرکت ایرفو مدت ها بود که خود اقدام به ساخت چپلت های مورد نیاز کرده بود. چپلت های تولیدی از چند جهت قطعه را دچار مشکل می کرد. اول این که چپلت ها استحکام مکانیکی بسیار پایینی داشتند و ثانیاً به دلیل عدم نفوذ ذوب^b در این چپلت ها، همواره فضای بین ستون چپلت ها و ذوب منجمد شده، مسیری برای خروج آب ایجاد می کرد و تمامی قطعات از این محل آب می دادند. در واقع آب دهی از محل چپلت عیبی فراگیر بود در تمامی دیگ های تولیدی بود که با سنبه زدن محل چپلت جبران می شد. اما در بعضی موارد سنبه زدن کمکی به آب بند کردن قطعه نمی کرد و قطعه ضایعات می شد. در بعضی از موارد نیز سنبه زدن خود باعث معیوب شدن قطعه می شد که دو شکل زیر این موضوع را شفاف تر نشان می دهند. از شکل های زیر می توان شکستگی قطعه در اثر ضربه سنبه را تشخیص داد.

^a Crack

^b Lack of Fusion

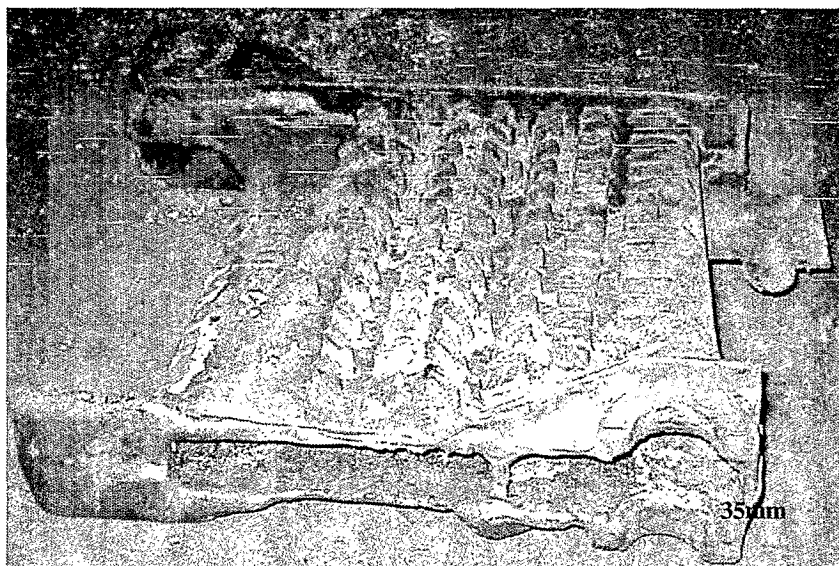


شکل ۳-۷: تصویری از شکستگی محل چپلت که در سطح کناری قطعه رخ داده است.

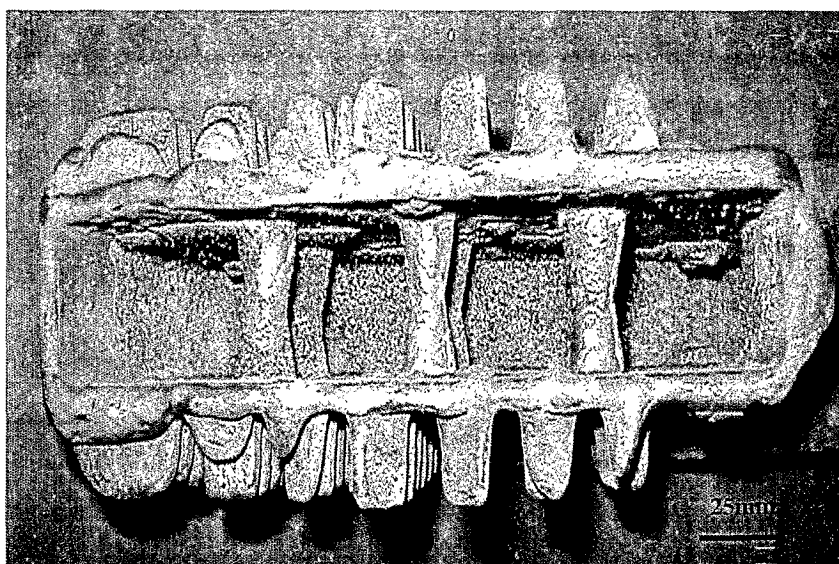
موسسه اطلاعات ایران
تهران

۳-۵-۶- کم آمد

هنگامی که دمای بار ریزی کم باشد قطعه به طور کامل پر نمی شود. کنترل دمای ذوبریزی در شرکت ایرفو به صورت تجربی انجام می شود. بدین صورت که اپراتور ذوبریزی با تجربه ای که دارد به صورت چشمی اقدام به شروع و قطع ذوبریزی قطعات می کند. خطای انسانی در این مورد می تواند منجر به وقوع عیبی به نام "کم آمد" شود. این عیب نیز در مقایسه با سایر عیوب، کسر بسیار ناچیزی از ضایعات را تشکیل می دهد، چه با پر نشدن یک قطعه اپراتور سریعاً متوجه می شود و از ذوبریزی قطعه بعدی امتناع می کند. شکل ۳-۸ تصویری از یک قطعه ناقص که ذوب آن سرد بوده را نشان می دهد. از هندسه جداره های لبه فوقانی قطعه، که شکلی گرد و سطحی صاف دارد، می توان به پایین بودن دمای ذوب آن پی برد.



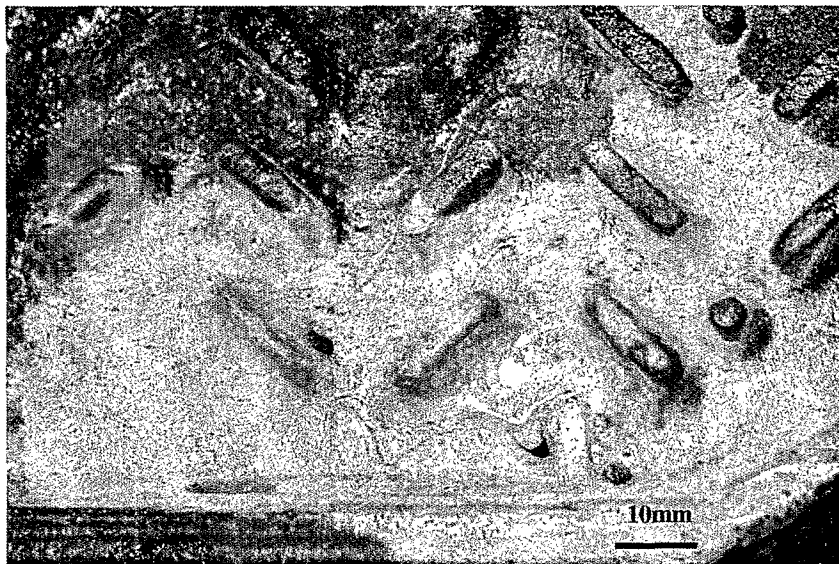
شکل (الف) ۸-۳ : تصویری از نیامد در سطح بالایی قطعه



شکل (ب) ۸-۳ : تصویری از نیامد در سطح بالایی قطعه

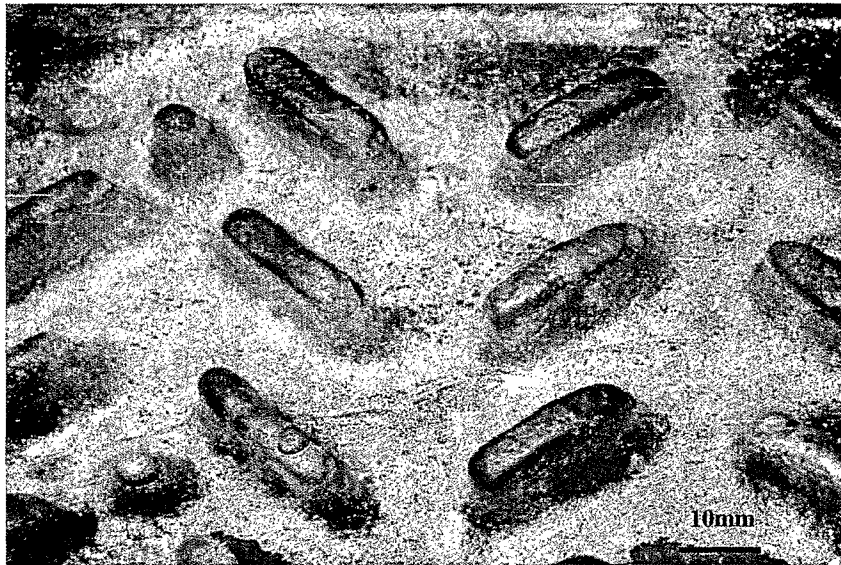
۳-۵-۷- سرد جوشی^a

در اثر دمای پایین ذوب ریزی و نفوذ ناقص در جبهه های مختلف حرکت ذوب عیب سرد جوشی تشدید می گردد. در این عیب دو سطح کاملاً متمایز از هم قابل تشخیص است که سطح مشترکی صاف^b و بارز دارند. نحوه معرفی مذاب به داخل قالب و نحوه سیلان و جریان مذاب در داخل قالب از جمله عوامل تأثیر گذار در این عیب هستند که این عوامل نیز توسط سیستم راهگاهی کنترل می شوند. پس به عبارتی سیستم راهگاهی می تواند نقشی مؤثر در این مورد داشته باشد. دو شکل ۳-۹ الف و ب سرد جوشی در قطعات دیگ را به خوبی نشان می دهند.



شکل(الف) ۳-۹ : تصویر ی از سرد جوشی که در سطح کناری قطعه رخ داده است.

^a Cold Lap
^b Smooth



شکل (ب) ۳-۹ : تصویر ی از سرد جوشی که در سطح کناری قطعه رخ داده است.

۳-۵-۸- بیرون زدن ذوب از قالب

قرار گیری ماهیچه در داخل قالب متکی بر دو تکیه گاه^a است که سر ماهیچه نامیده می شوند. سر ماهیچه ها تنها محل اتصال ماهیچه به قالب است و چنانچه بین قالب و سر ماهیچه در این قسمت فاصله ای باشد، مسیری برای بیرون زدن ذوب ایجاد می شود. با بیرون زدن ذوب قسمتهای داخلی قطعه که هنوز متجمد نشده اند از درون تهی می شوند و تنها دو پوسته^a نازک در مجاورت دیواره ها باقی می ماند. فاصله بین سر ماهیچه و قالب در محل تکیه گاه ها در اثر عدم دقت ابعادی مدلها و جعبه ماهیچه ها ایجاد می شود. تصویر ۳-۱۰ (الف) نشان دهنده یک نمونه بیرون زدگی ذوب از محل سر ماهیچه می باشد. تصویر ۳-۱۰ (ب) نیز نشان دهنده حالتی است که مذاب فضای کافی برای

^a Core Print

خروج از قالب را نداشته و لی این عکس کاملاً تأیید کننده فرضیه بیرون زدن ذوب از محل سر ماهیچه می باشد.



شکل (الف) ۳-۱۰ : تصویری از بیرون زدگی ذوب که در نزدیکی سر ماهیچه رخ داده است.



شکل (ب) ۳-۱۰ : تصویری از بیرون زدگی ناموفق ذوب از محل سر ماهیچه

۳-۵-۹- شکستگی قالب

در اثر شکستگی یا ترک قالب، هنگام ذوب‌ریزی، ذوب وارد این قسمت میشود و روی پره^۱ دیگ زائده ای فلزی و قطور ایجاد میکند. در صورتیکه زائده^۲ ایجاد شده بزرگ نباشد به آن پلیسه گفته می شود که با سنگ زنی قابل اصلاح کردن می باشد. اما اگر زائده^۳ ایجاد شده بزرگ و قطور باشد، به این عیب "شکستگی قالب" گفته می شود. شکستگی قالب را نمی توان اصلاح کرد و منجر به ضایعات شدن قطعه می گردد. عدم استحکام کافی ماسه در قالبگیری، ماسه کوبی غیر یکنواخت و تراز نبودن صفحه مونتاز قالبها را می توان از جمله دلایل عمده شکستگی قالب دانست. تصاویر زیر نمونه هایی از شکستگی قالب را نشان می دهند که زائده هایی بسیار بزرگ و قطور در سطح کناری قطعه ایجاد کرده است.



شکل(الف) ۳-۱۱: تصویری از شکستگی قالب که در قسمت کناری قطعه رخ داده است.



شکل(ب) ۱۱-۳ : تصویری از شکستگی قالب که در قسمت کناری قطعه رخ داده است.

۳-۵-۱۰- نیامد

در مواردی که در اثر عدم دقت ابعادی قالب یا ماهیچه دیواره ای که مسیر حرکت ذوب است نازک شده باشد، ذوب قادر به پر کردن دیواره نبوده و در نتیجه قسمت هایی از قطعه "نیامد" می کند. سرد بودن مذاب نیز می تواند در شدت بخشیدن به این مورد تأثیر گذار باشد. چه با پایین آمدن دمای ذوب سیالیت ذوب کاهش یافته و ویسکوزیته آن به شدت افزایش می یابد.

دو شکل زیر مواردی را نشان می دهند که بنا به علل مختلف فاصله بین ماهیچه و قالب کم شده و ذوب نیامد کرده است. نکته قابل توجه در این مورد عدم استحکام مکانیکی چپلت های مورد استفاده می باشد که قابلیت تحمل وزن ماهیچه- که در صورتیکه محل تکیه گاه ماهیچه در قسمت سر ماهیچه دقت ابعادی نداشته باشد اتفاق می افتد- را ندارند و در شرایطی نامناسب نقش خود را به عنوان حفظ کننده فاصله بین ماهیچه و دیواره قالب به هیچ وجه ایفا نمی کند.

مسئله قابل تأمل در مورد شکل ۳-۱۲ (الف) "شکستگی قالب" است که در کناره های قطعه به چشم می خورد. شکستگی قالب در کناره ها نشان از تأثیر گذاری این عیب در تشدید عیب نیامد دارد. همانطور که پیشتر گفته شد عیب "شکستگی قالب" به دلیل ترک خوردن قالب اتفاق می افتد که در نتیجه عدم دقت ابعادی قطعه را به شدت افزایش می دهد و می تواند به کاهش ضخامت دیواره منجر شود.



شکل (الف) ۳-۱۲ ، تصویری از نیامد کردن ذوب در قسمت کناری قطعه که رخ داده است. شکستگی

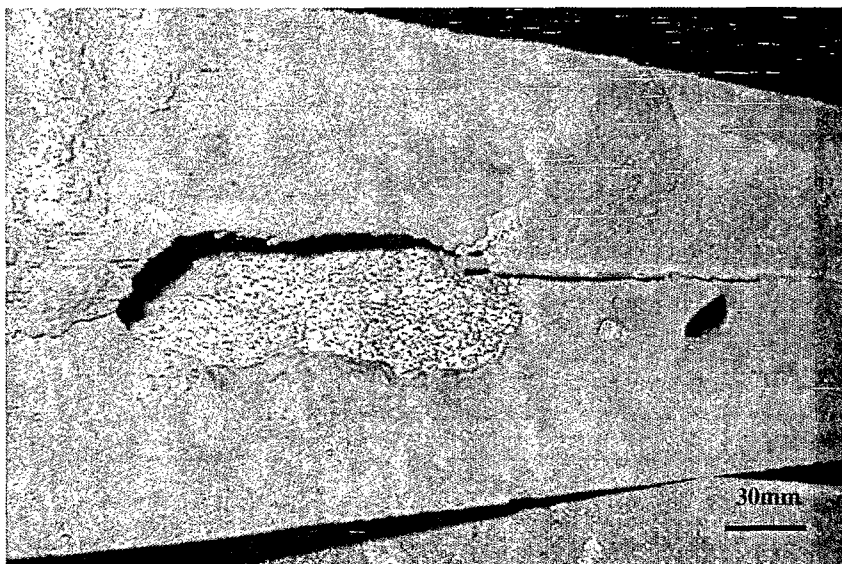
قالب در قسمت بالایی قطعه کاملاً قابل تشخیص است.



شکل(ب) ۳-۱۲: تصویری از نیامد کردن ذوب که در قسمت کناری قطعه رخ داده است.

۳-۵-۱۱- شکستگی ماهیچه

یکی از عیوبی که در دورانی به شدت در شرکت ایرفو رایج بود شکستگی ماهیچه بود. در اثر استحکام پایین ماهیچه با فشار هایی کم احتمال شکست ماهیچه پیش می آید. با شکستن ماهیچه در داخل قالب ذوب به آن قسمت نفوذ می کند و در نتیجه مسیر جریان آب در داخل دیگ را مسدود می کند. از مشکلات این عیب دشواری تشخیص آن بود که عموماً پرسنل شرکت را به اشتباه می کشاند. در تصاویر زیر نفوذ ذوب در مسیر سیلان آب در داخل دیگ کاملاً مشاهده می شود.



شکل ۳-۱۳: تصویری از شکستگی ماهیچه که در قسمت کناری قطعه رخ داده است.

فصل چهارم

فاز تحلیل

Analysis

۴-۱- مقدمه

در فاز بعدی این پروژه، مسئله^۱ تحلیل و بررسی اطلاعات جمع آوری شده از دو فاز قبلی مطرح بود که با استفاده از این تحلیل ها راه جهت ارائه^۲ پیشنهادهای بهبود هموار می شد. در این بخش به تحلیل جزء به جزء اطلاعات گردآوری شده در بخشهای گذشته پرداخته می شود.

نمودارهای ایشیگاو^۳، که به نمودار های استخوان ماهی یا علت - معلول^۴ نیز معروف می باشند، در آنالیز علل ضایعات شدن پره های دیگ ها به کار گرفته شدند. در این نمودار ها تمامی عواملی که به نظر می رسد می توانند در ایجاد عیوب در قطعات موثر باشند مورد بررسی قرار می گیرند. سپس با استفاده از نمودار های پارتو در جهت رفع اصلی ترین عوامل گام بر داشته می شود.

بررسی عیوب و دلایل ایجاد عیوب با استفاده^۵ از نمودار علت و معلول مشخص می سازد که سه عامل به طور خاص تأثیری قابل توجه در ایجاد عیوب دیگ ها دارند. این عوامل عبارتند از:

۱. نشستی آب از محل چپلت ها

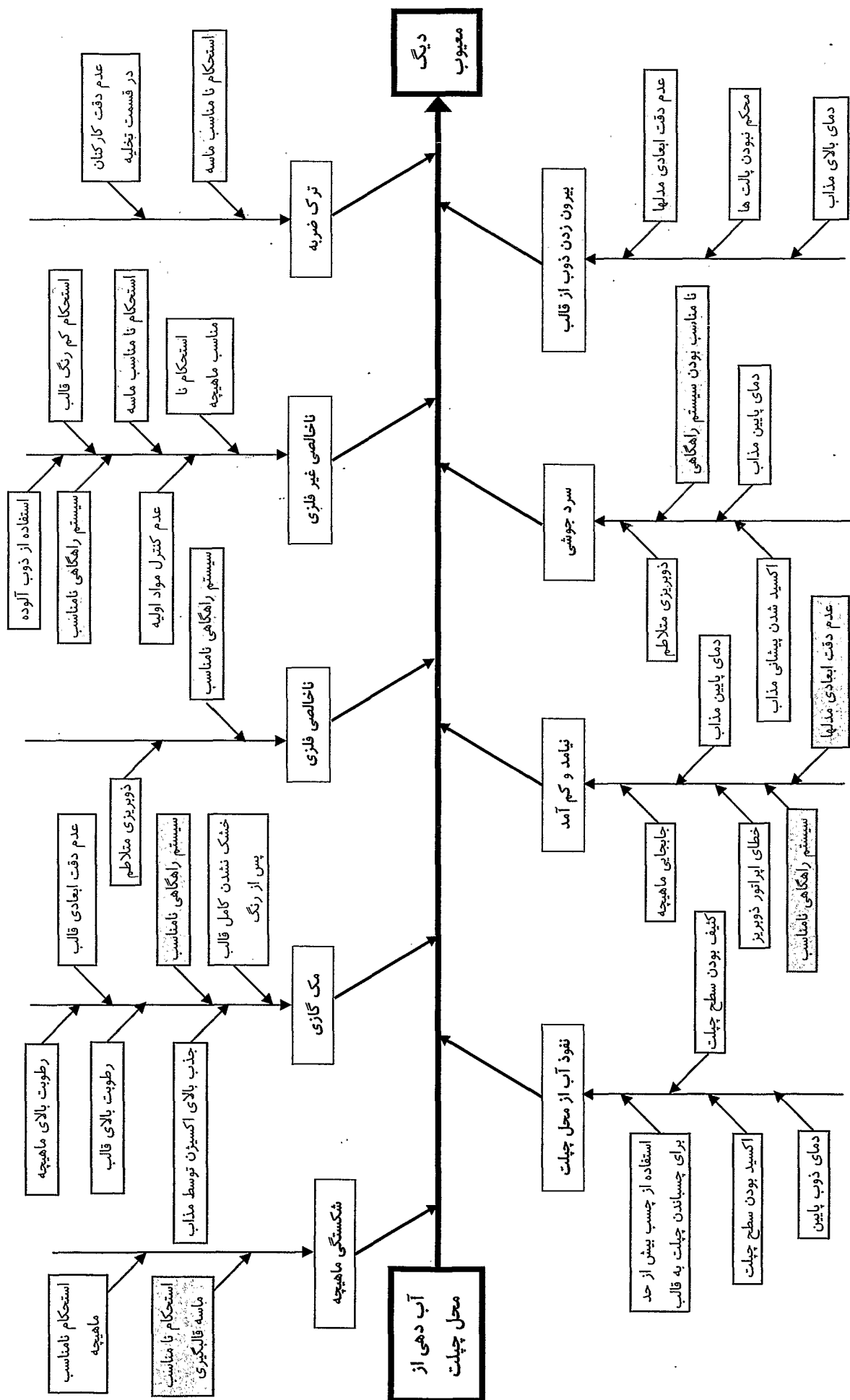
۲. طراحی نامناسب سیستم راهگاهی

۳. استحکام نامناسب ماسه^۶ قالبگیری

بهبود سیستم راهگاهی و رفع نشستی محل چپلت ها از جمله اقدامات برگشت ناپذیر محسوب می شدند ولی تعیین ماسه^۷ مناسب برای قالبگیری به نوعی برگشت پذیر بود چرا که با کاهش کنترل ها ماسه^۸ مصرفی از حالت مناسب منحرف می شد. اساسی ترین عیب پره های دیگ نشت آب از محل چپلت ها در تست هیدروستاتیک بود. این عیب مشکل مشترک تمامی پره های دیگ بود. اپراتور تست هیدروستاتیک محل چپلت ها را قبل از تست با سنبه و چکش ضربه می زد تا از نشت آب جلوگیری

^۱ Cause And Effect Diagrams

شود. به همین ترتیب در مورد دیگر هایی که در حین تست نیز از محل چپلت ناشتی داشتند سعی می شد تا با سنبه زدن محل از ناشتی آن جلوگیری شود. آماری که در نمودار پارتو میزان ضایعات در اثر چپلت مشاهده می شود مربوط به پره هایی است که اپراتور تست با سنبه زدن نیز قادر به آب بند کردن قطعه نبوده است یا قطعه در اثر ضربات سنبه معیوب شده است. به دلیل همه گیر بودن این عیب و اهمیت موضوع، بررسی و تمرکز ویژه ای در جهت رفع این عیب باید صورت می پذیرفت.



۴-۲- بررسی آمار تولید-ضایعات بر حسب هر پره

بررسی نمودار های P-Chart تولید هر یک از پره ها، در پریود های ماهیانه، نشان از تحت کنترل نبودن پروسه تولید دارد. همانطور که از روند تولید می توان دریافت درصد ضایعات تولید ماهیانه معمولاً از یک رویه منطقی و ثابت پیروی نمی کند. در بعضی دوران و در مورد بعضی پره ها بهبودهایی نسبتاً مستمر دیده می شود که مربوط به دورانی می باشند که فعالیتی در جهت کاهش ضایعات و بهبود وضعیت تولید انجام شده است. اما آنچه قابل مشاهده است، موارد متعدد انحراف از خطوط کنترلی بالا و پایین می باشد. عدم تولید یکنواخت را می توان به دلایلی متعدد نسبت داد. از جمله این عوامل می توان به عدم آشنایی پرسنل از اهمیت کار خود در قسمت های مختلف دانست، در این صورت احتمال حذف یا تغییر خودسرانه برخی از مراحل می تواند از جمله عوامل متزلزل کننده تولید دانست. به نظر می رسد کارگران در مراحل مختلف دقت یکسانی را در کار خود نداشته اند و همچنین مدیریت حساسیتی با ثبات و مؤثر در کنترل فرآیند و تلاش جهت کاهش ضایعات از خود نشان نداده است، چه یک روند ثابت در کاهش ضایعات و حتی تولید روز مره هیچ یک از پره ها، که حداقل برای ۳ ماه پایدار بوده باشد، به ندرت دیده نمی شود.

کنترل فرآیند منحصراً به کنترل عملکرد افراد اطلاق نمی شود. کنترل فرآیند به مفهوم عام به معنی کنترل ورودی های خط تولید نیز می باشد. از نمودار های P-Chart بخش اندازه گیری می توان به تحت کنترل نبودن ورودی های فرآیند نیز پی برد. ورودی های فرآیند شامل مواد اولیه، ابزار آلات و ماشین ها و روش های اجرایی، می توانند در سلامت قطعه ریخته شده تأثیر گذار باشند.

مواد اولیه از جمله ماسه مورد استفاده در قالب گیری پره، ماسه مورد استفاده در ماهیچه گیری، چسب شیشه، چسب ترمو شوک، پوشان قالب و ماهیچه، از جمله مواردی هستند که بسیار تأثیر

گذار در سلامت قطعات ریخته شده می باشند و باید کاملاً تحت کنترل باشند و نمودار های P-Chart نشان از بی توجهی به کنترل مواد اولیه نیز دارد.

ابزار آلات و تجهیزات مورد استفاده در فرآیند باید به طور موثر و متناوب کنترل شوند. چه تغییرات در مدل ها و جعبه ما هیچه ها می تواند منجر به خرابی قطعه ها شود. از عدم ثبات در تولید می توان به کم توجهی در کنترل مدلها، جعبه ماهیچه ها، جرثقیل های ذوبریز و ... پی برد. با توجه به تمامی مطالبی که به آنها اشاره شد، بررسی نمودار های P-Chart تولید در طی سال های گذشته (از سال ۷۸ تا آذر ۸۳) مسئله عدم کنترل موثر خط تولید و اینکه تولید در طی این سال ها تحت کنترل نبوده است را به اثبات می رساند.

۴-۳- تحلیل نمودار پارتو بر حسب عیوب موجود

با توجه به نمودار پارتو رسم شده در قسمت اندازه گیری، از فروردین تا خرداد ۸۳، می توان در یافت که عمده ترین سهم ضایعات مشخص شده در برگه های کنترل کیفیت را گزینه ای به نام سایر عیوب تشکیل می دهد. سایر عیوب گزینه ای از گزینه های برگه کنترلی پره ها در قسمت تکمیل (سنگ زنی) و قسمت تست هیدرو استاتیک بود و در مواقعی علامت گذاری می شد که عیب مشاهده شده برای فرد کنترل کننده آشنا نبوده و یا کنترلی قادر به تشخیص نوع عیب نبوده است. بدیهی است که اولین گام در رفع هر عیب و نقصی تشخیص نوع عیب است و بنا به آمار بدست آمده از رسم نمودار پارتو، می توان دریافت که ابتدایی ترین حرکت باید شناسایی عیوب نا شناخته و شناساندن آنها، که بالاترین درصد ضایعات را تشکیل می دهند، به کارکنان می باشد. چه طرحریزی و برنامه ریزی برای عیبی که چپستی آن نا مشخص است امری محال و غیر علمی است.

پس از عیب "سایر عیوب" بیشترین سهم ضایعات را عیوب گازی (جوشیدگی) تشکیل می دهند. در ریخته گری پره های دیگ چند منشأ عمده و اصلی برای عیوب گازی قابل شناسایی است. اول حجم بالای گاز متصاعد شده از ماهیچه است که در صورت عدم امکان خروج قطعاً به مک گازی منجر خواهد شد. دوم رطوبت باقی مانده در پوشان قالب و ماهیچه است و سوم رطوبت و گاز های متصاعد شده از قالب ماسه ای می باشد.

با بررسی های به عمل آمده عدم امکان خروج گاز ماهیچه است که به عنوان عامل عمده ایجاد مک گازی ایفای نقش می کند. با بررسی قطعات معیوب در اثر جوشیدگی این فرضیه به اثبات رسید. گاز متصاعد شده از ماهیچه در حین ذوبریزی و در اثنای تماس ذوب با ماهیچه باید از دو قسمت تعبیه شده در سر ماهیچه ها خارج شود. سر ماهیچه هر قالب منفذی دارد که مسیر خروج گاز ماهیچه را هموار می کند. با بررسی های متعدد اثبات شد که در کلیه مواردی که این مسیر به هر شکلی (توسط ذوب و یاماسه) مسدود شود قطعه اصطلاحاً می جوشد و گاز متصاعد شده از ماهیچه که فشار بالایی نیز دارد، در قطعه مک گازی راه بدر ایجاد می کند. دو تصویر زیر نمونه ای را نشان می دهد که در اثر مسدود شدن سر ماهیچه مسیر خروج گاز ماهیچه بسته شده و قطعه ضایعات شده است. این دو شکل تصاویر یک قطعه می باشند از زوایای مختلف.



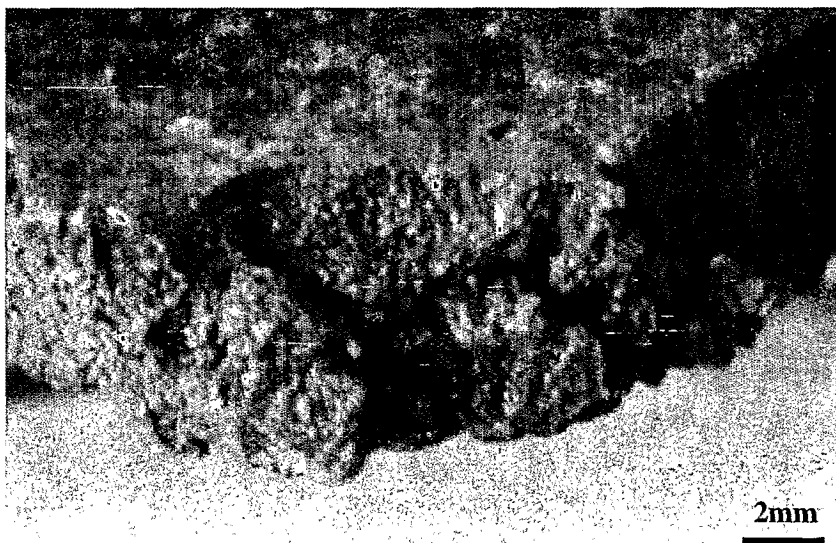
شکل ۴-۱: تصویری از قسمت سر ماهیچه که به دلیل پیرون زدن ذوب در این قسمت خروج گاز از این محل دشوار شده است.



شکل ۴-۲: تصویر حفره گازی در اثر عدم امکان خروج گاز ماهیچه از سر ماهیچه و ایجاد حفره در قسمت بالایی قطعه

سومین عیب از حیث اهمیت، ناخالصی های غیر فلزی می باشند که عمدتاً با بررسی های صورت گرفته مربوط به ذرات رنگ، گرافیت، ماسه^۱ قالب، ماسه^۲ ماهیچه می باشند. از آنجاییکه در حین ذوبریزی دقت عمل بالایی اعمال می شد به ندرت شلاکه در میان ضایعات دیده می شد. ذرات

ناخالصی در طول مسیر، در دماهای بالا، به یکدیگر می‌چسبند و به راحتی می‌توانند، با تجمع در یک محل، منفذی راه بدر در ضخامت قطعه ایجاد کنند [۹]. این دسته از عیوب در زمرهٔ عیوب G130^a قرار می‌گیرند که مختص آخال‌ها و ناخالصی‌های غیر فلزی قالب و یا ماهیچه می‌شود. تصاویر زیر نمونه‌ای از این کانال‌های ایجاد شده در کل ضخامت قطعه را نشان می‌دهند که منجر به راه بدر شدن قطعه گردیده است. نمای ظاهری این عیوب بسیار فریبنده است و تا قبل از شکستن مقطع قطعات قابل تشخیص نمی‌باشند.



شکل ۴-۳-الف): تصویر کانالی از ناخالصیها در مقطع عرضی قطعه که کاملاً راه بدر است.

^a مطابق دسته بندی ASM Metals Handbook



شکل شماره ۴-۳-ب: تصویر کانالی از ناخالصیها در مقطع عرضی قطعه که کاملاً راه بدر است

۴-۴- تحلیل نقشه مدلها به همراه سیستم راهگاهی آنها

با بررسی نقشه^۱ تهیه شده از مدل ها و سیستم راهگاهی آنها مشخص شد که سیستم راهگاهی تعبیه شده برای مدل ها یک سیستم فشاری است. در سیستم فشاری سرعت حرکت سیال پس از هر سطح مقطع افزایش می یابد یا به عبارتی سطح مقطع عبور مذاب متناوباً کوچکتر و کوچکتر می شود. از آنجاییکه گیت های ورودی مذاب درست در مقابل ماهیچه قرار دارد، پاشش مذاب با سرعت بالا به سطح ماهیچه منجر به ماسه شویی شدید ماهیچه و دیواره^۲ قالب می شود. همچنین سرعت بالای ورود مذاب به داخل قطعه به ایجاد تلاطم می انجامد و قطعه به صورتی کاملاً متلاطم پر می شود. تلاطم در حرکت مذاب در داخل قطعه می تواند به عیوب دیگری نظیر سرد جوشی^a و دوپوستگی^b نیز

^a Cold Lap

^b Interrupted Pour

منجر شود [۱۰]. در طراحی سیستم راهگاهی ابتدا باید محاسبات افت فشار سیال در طول سیستم راهگاهی صورت گیرد. افت فشار از این نظر که امکان جریان یافتن سیال را از مقاطع مختلف سیستم راهگاهی را معین می کند اهمیت به سزایی دارد. به عبارت دیگر به علت وجود زبری های مختلف در سر راه جریان سیال و موانع و پیچ های مختلفی که وجود دارد، باید اطمینان حاصل کرد که هد^a مذاب ورودی، فشار لازم جهت غلبه کردن بر نیرو های اصطکاکی دیگر را فراهم می آورد. این آنالیز با استفاده از قانون برنولی که در زیر آورده می شود انجام می شود.

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + h + h_{Loss} = Const. \quad (4-1)$$

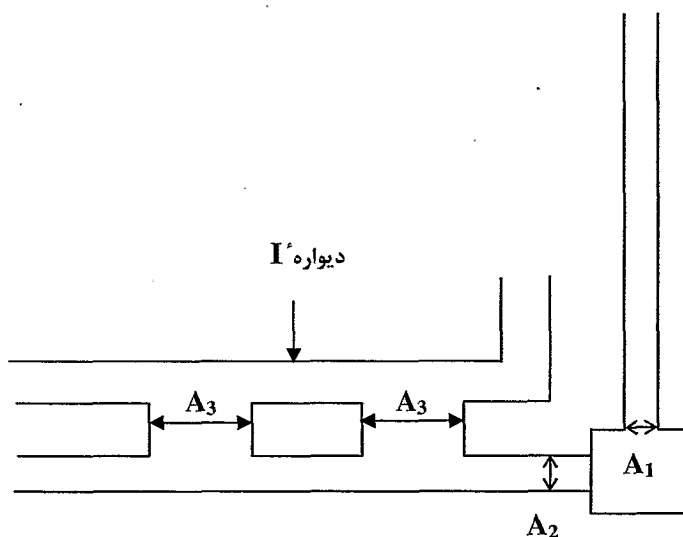
که در این رابطه $\gamma = \rho.g$ می باشد. قانون برنولی تعمیم یافته که در بالا مشاهده می شود، با استفاده از قوانین بقای انرژی بدست می آید. قانون پیوستگی مکمل معادله برنولی تعمیم یافته بوده و این دو در کنار هم توزیع فشار و سرعت را در طول مسیر معین می کنند. انون پیوستگی بیان می کند که:

$$m_1 = m_2 \Rightarrow V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (4-2) \quad \text{در حالت تراکم ناپذیری سیال}$$

لازم به ذکر است که در فرآیند ریخته گری جهت طراحی سیستم راهگاهی از اثرات تغییرات دمایی و تراکم پذیری اثرات جاذبه مذاب صرفنظر گردیده است. به عبارت دیگر تغییر چگالی و به طبع آن تغییر ویسکوزیته را ناچیز فرض کرده و از معادله^۶ (۲) به عنوان قانون بقای جرم استفاده میشود. حال مشاهده می شود که با استفاده از معادلات (۱) و (۲) با وجود شرط اولیه ای که در اینجا دبی ورودی به قالب است، می توان تمامی فشار ها و سرعت ها را در سیستم معین کرد [۱۱].

^a Head

با در نظر گرفتن شکل ۴-۴ به عنوان تصویری شماتیک از مقاطع علم راهگاه، راهبار، راهبار و دیواره^{*} ماهیچه که با I مشخص شده است، می توان سرعت ها و همچنین نحوه^{*} سیلان مذاب در راهگاه از نظر آرام بودن و یا متلاطم بودن را بررسی کرد.



شکل ۴-۴: تصویر شماتیک مقطع سیستم راهگاهی

در این تحلیل فرض می شود که n راهبار با مقطع A_3 مذاب را به داخل قطعه معرفی می کند. در اینصورت بنا به قانون پیوستگی داریم:

$$\dot{m}_0 = \rho_0 \dot{Q}_0 = \rho_0 A_3 V_3 n \Rightarrow V_3 = \frac{\dot{m}_0}{\rho_0 n A_3} \quad (4-3)$$

بنا بر این سرعت در گیت های ورودی (V_3) مشخص می شود. قطعه^{*} ۱۰۰ کیلو گرمی پره^{*} وسط TGG، که در این بررسی تمرکز ویژه ای بر آن صورت گرفت، حدوداً در ۱۰ ثانیه پر می شود لذا در مورد این پره سرعت عبور مذاب از راهبار ها برابر می شود با:

$$\left. \begin{array}{l} m_0 = 10 \frac{Kg}{Sec} \\ \rho_0 = 7000 \frac{Kg}{m^3} \\ n = 6 \\ A_3 = 0.05 \times 0.0035 \end{array} \right\} \Rightarrow V_3 = 1.4 \text{ m/Sec}$$

به توجه به محاسبات فوق سرعت عبور مذاب از هر گیت (V_3) محاسبه شد. برای بررسی نحوه سیلان مذاب می توان عدد رینولدز را در مقطع مورد بررسی بدست آورد. از آنجاییکه در سیستم راهگامی فشاری بالاترین سرعت در راهباره ها می باشد، بیشترین تنش برشی از جانب مذاب به دیواره های قالب ماسه ای نیز به این مقطع وارد می شود. عدد رینولدز به صورت زیر تعریف می شود.

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\eta} \quad (4-4)$$

که در این رابطه D_h قطر هیدرولیکی می باشد که در مورد مقطع مستطیلی راهباره ها می توان آن را با دو برابر ضخامت راهباره برابر دانست. همچنین با جایگذاری سرعت در راهباره ها در رابطه 4-4 می توان عدد رینولدز را در مقطع راهباره به دست آورد. در چدن های خاکستری جریان وقتی آرام است که عدد رینولدز کمتر از 5000 باشد [۱۲]. لذا وقتی جریان در یک مقطع آرام است که

$$v = \frac{R\eta}{\rho D} \wedge R < 5000 \Rightarrow V < \frac{5000 \times 0.024}{\rho D} = \frac{17.14}{D} \quad (4-5)$$

ویسکوزیته دینامیک مذاب چدن برابر با ۰.۲۴ پواس می باشد. با محاسبه D معادل در مقطع راهباره ها و جایگذاری در رابطه 4-5 داریم:

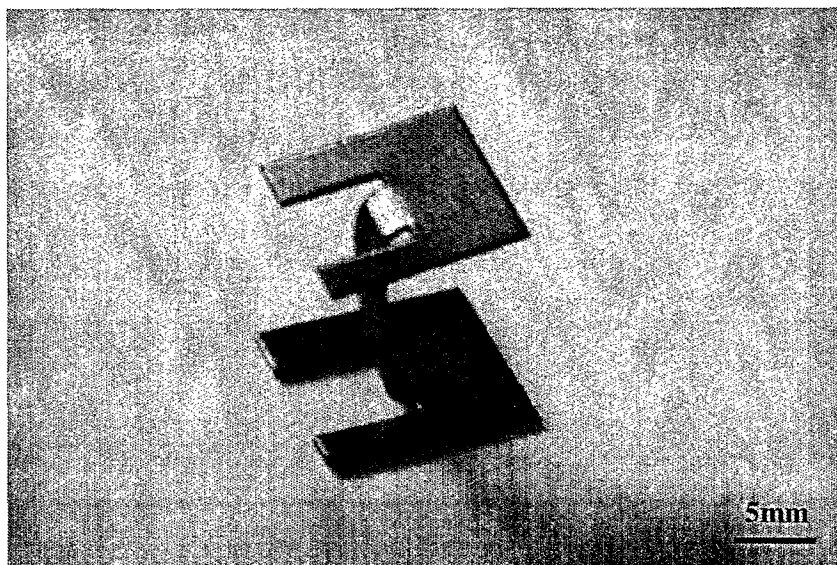
$$D = 4 \times \frac{5 \times 0.35}{5.35 \times 2} = 0.654 \Rightarrow V = \frac{17.14}{0.654} = 26.2 \text{ (Cm/Sec)}$$

به عبارتی برای این که در مقطع راهباره ها جریان آرام داشته باشیم سرعت نباید از ۲۶/۲ (Cm/Sec) افزایش یابد. حال آنکه سرعت به دست آمده از رابطه 3-4 بیش از این مقدار بوده و حدود ۱۴۰

(Cm/Sec) می باشد. بدین ترتیب می توان با قطعیت اظهار داشت که جریان در راهباره ها متلاطم می باشد و به همین دلیل احتمال ماسه شویی و کنده شدن ماسه از سطح قالب در مسیر حرکت مذاب بسیار بالاست. با توجه به شکل ۴-۴ می توان سرعت بالای مذاب در راهباره ها را عاملی اصلی برای ماسه شویی از سطح دیواره^۶ I که ماهیچه است دانست. هر چه سرعت مذاب در برخورد با دیواره^۶ ماهیچه بیشتر باشد احتمال کنده شدن ماسه از آن بیشتر است.

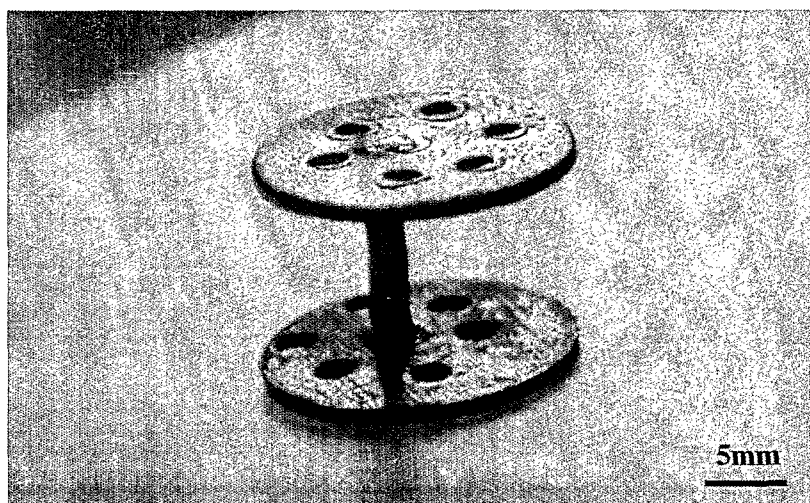
۴-۵- تحلیل متالوگرافی مقطع چپلت های مورد استفاده

چپلت هایی که در تولید پره های دیگ مورد استفاده قرار می گیرند در دو نوع مختلف می باشند. در شکل های زیر تصویر این دو نوع چپلت آورده شده است.



شکل ۴-۵ (الف): چپلت تولید شده در شرکت ایرفو با شکل I که در پره های سبک به کار می رود.

مقاطع عرضی این چپلت ها در داخل قطعه برش زده شدند و مورد متالوگرافی قرار گرفتند. بررسی نتایج متالوگرافی که در بخش قبل آمده است نشان می دهد که بین ستون چپلت های ساخته^a شرکت و چدن زمینه پدیده^a نفوذ^a رخ نداده است. فاصله ای که در اطراف ستون چپلت بین ستون و چدن زمینه دیده می شود کاملاً مؤید پدیده^a عدم نفوذ^b چپلت در چدن زمینه است. این فاصله در واقع مسیر خروج آب از داخل دیگ ها می باشد. اندازه گیری هایی که از مقاطع مختلف در نمونه های مختلف به عمل آمد، فاصله بین ستون چپلت و زمینه در پاره ای موارد حتی تا $400\text{ }\mu\text{m}$ نیز می رسید. این چپلت ها که توسط خود شرکت ایرفو تولید می شود از ورقهای فولاد ساده کربنی کم کربن ساخته می شوند لذا پتانسیل غلظتی لازم بین دو محیط (ستون چپلت و چدن زمینه) فراهم است. اما نکته ای که در ساخت چپلت ها رعایت نمی شود

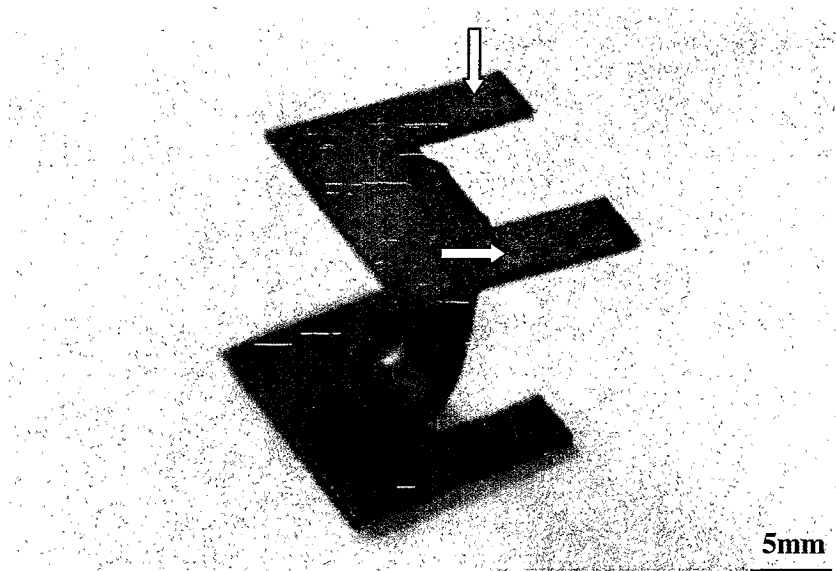


شکل ۴-۵ (ب): چپلت تولید شده در شرکت ایرفو که در پره های سنگین به کار می رود.

^a Diffusion

^b Lack of Fusion

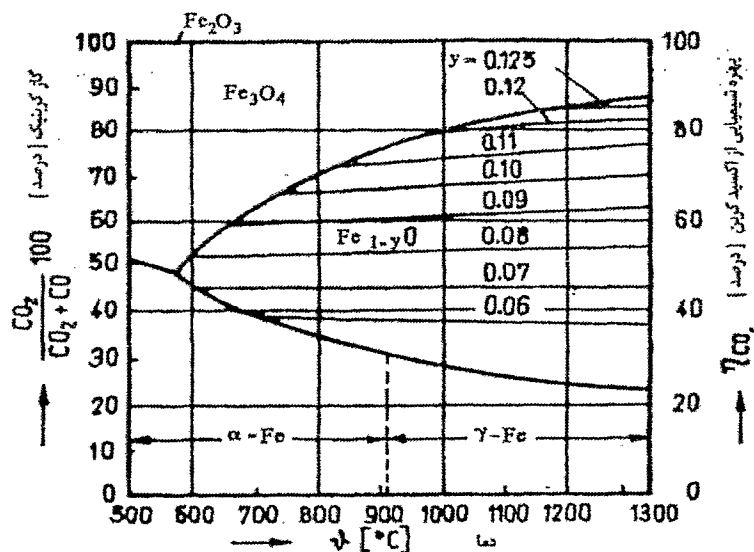
تمیز بودن سطوح آنهاست. تصویر زیر چپلتی را نشان می دهد که کاملاً نقاط زنگ زده روی آن مشخص است و ستون چپلت نیز بسیار آلوده می باشد.



شکل ۴-۵: چپلت تولید شده در شرکت ایرفو، نقاط اکسید شده روی چپلت با فلش ها مشخص شده است.

یکی از شروط پایه ای جهت نفوذ چپلت در زمینه تمیز بودن سطح ستون چپلت هاست. چونانکه هر نوع کثیفی مانند روغن، اکسید و ... می تواند از تشکیل باند نفوذی بین ستون چپلت و چدن زمینه جلوگیری به عمل آورد و حتی منجر به عیوبی مانند مکهای گازی نیز بشود. اکسید های سطح ستون چپلت در دماهای بالا با کربن آزاد مذاب می تواند واکنش دهد و منجر به تولید گاز های CO_2 و CO در مذاب شود. درجه اُحیا و میزان گاز تولیدی بستگی به فشار جزیی اکسیژن در مذاب دارد ولی در دماهای بالا این واکنش انجام پذیر است و می تواند منجر به ایجاد ریزمکها در درون قطعه شود [۱۳].

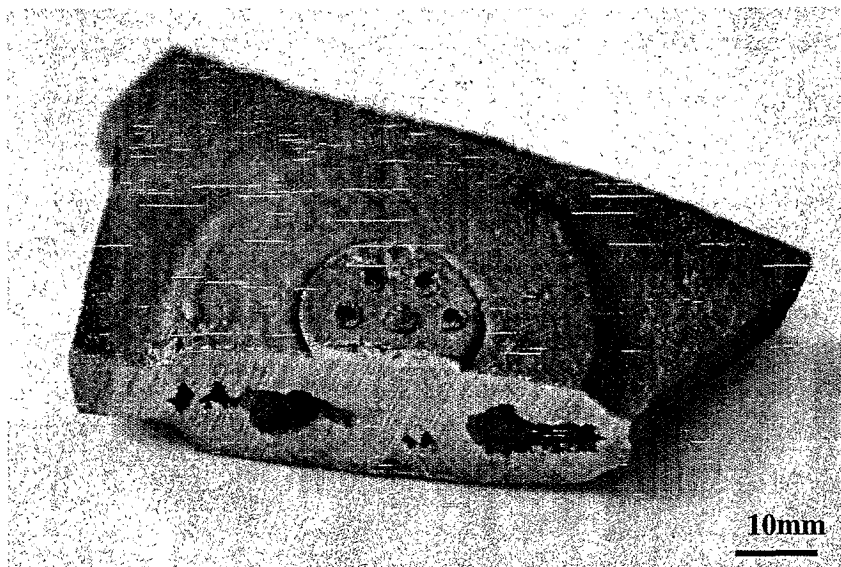
شکل ۴-۶ نمودار احیای اکسید آهن را توسط کربن نشان می دهد.



شکل ۴-۶: نمودار حالت پایداری آهن-کربن-اکسیژن

شکل ۴-۷ نشان دهنده دو حفره گازی در کناره های ستون چپلت می باشد. از آنجاییکه در قرار دادن و چسبانیدن این چپلت ها در محل خود روی ماهیچه از چسب چوب استفاده می شود، این عامل نیز می تواند در تشدید عیوبی نظیر شکل زیر کاملاً موثر باشند. این عیب بنا به دسته بندی صورت گرفته در ASM Metals Handbook در زمره عیب دسته B112^a که سوسه^a در نزدیکی پل (چپلت) اتفاق می افتد قرار می گیرد.

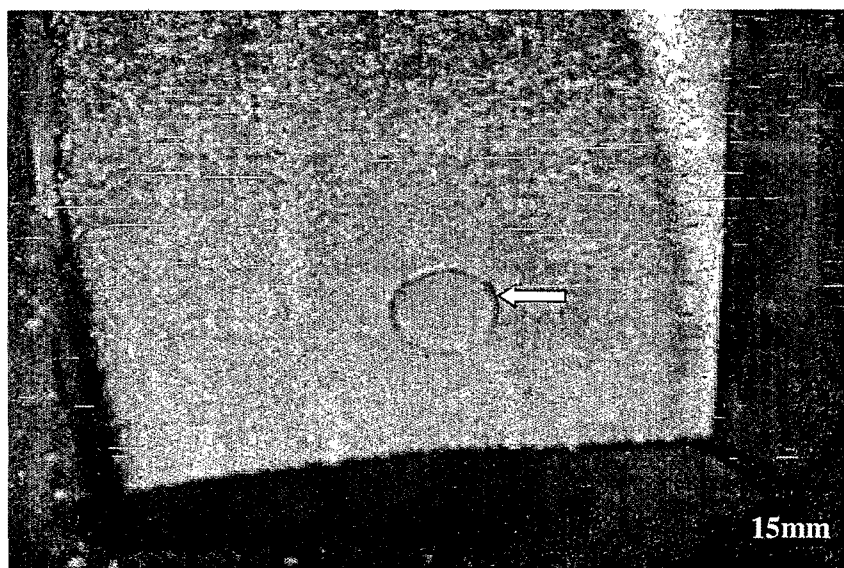
^a Blowholes adjacent to chaplet



شکل ۴-۷: تصویر سوسه ایجاد شده در دو طرف ستون چپلت

با پیگیری های به عمل آمده این نکته آشکار شد که در پروسه تولید چپلت ها برای عملکرد بهتر و کم زیان تر دستگاه پرس روی ورقی که از آن چپلت تولید می شود، روغن زیادی اعمال می شود. بدین ترتیب چپلت های تولید شده آلوده به روغن می باشند و هیچ اقدام مؤثری در جهت تمیز کردن و روغن زدایی از این چپلت ها تا قبل از مصرف صورت نمی گیرد. تنها کاری که به زعم مسئولین در جهت روغن زدایی انجام می شود حرارت دهی چپلت هاست با شعله گاز شهری. بالطبع این حرارت دهی به اکسید شدن سطحی چپلت ها و به جا ماندن لایه ای از هیدروکربن های سوخته شده می انجامد که می توانند به شدت از نفوذ چپلت در چدن زمینه جلوگیری کنند.

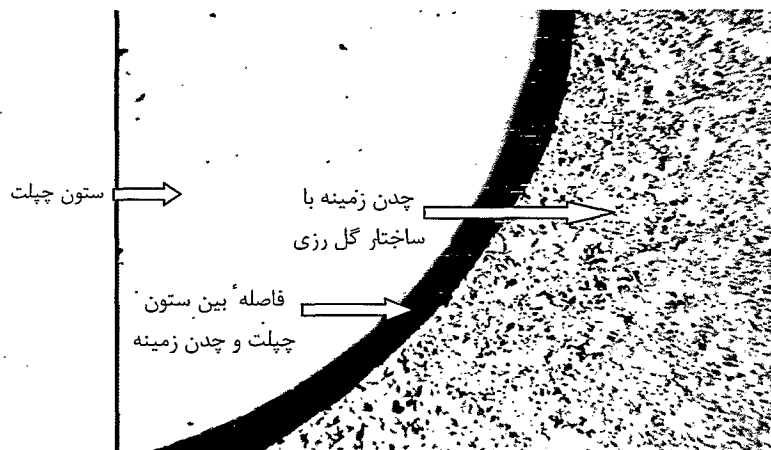
تصاویر زیر نمونه های متالوگرافی شده چپلت ها در داخل پره دیگ می باشند. با عکس های گرفته شده توسط یک دوربین بسیار پیشرفته و حرفه ای و بدون استفاده از میکروسکپ نیز می توان عدم نفوذ چپلت در زمینه و فاصله بین ستون چپلت و زمینه را دید.



شکل ۴-۸: تصویر مقطع عرضی چپلت در داخل پره؛ نوار سیاه محیط چپلت نشانه ای از عدم نفوذ چپلت در چدن زمینه می باشد.

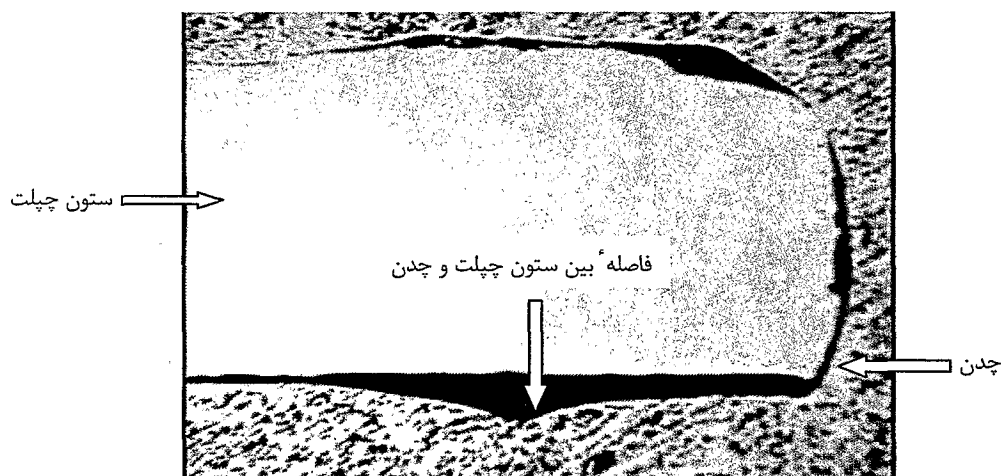
تصویر متالوگرافی زیر از همین مقطع با بزرگنمایی ۱۰۰ برابر توسط میکروسکپ نوری تهیه شده است. ناحیه^a تاریک بین چپلت و چدن زمینه مؤید این نکته است که هیچ نفوذی بین چپلت و چدن زمینه رخ نداده است. چدن اطراف چپلت، حاوی گرافیت های گل رزی شکل می باشد که به دلیل نرخ سرد شدن^a بالای این ناحیه در مجاورت چپلت می باشد.

^a Cooling Rate



شکل ۴-۹: تصویر پس از پولیش مقطع چپلت در پره دیگ، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر

تصاویر فوق از سطح مقطع چپلت های گرد که در تصویر شماره ۴-۴ (ب) نمایش داده شده است تهیه شده است. اما در مورد چپلتی که تصویر آن در شکل ۴-۴ (الف) آمده است نیز ما وقع به همین شرح است. شکل زیر نشان از عدم نفوذ چپلت با شکل I و چدن زمینه دارد.



شکل ۴-۱۰: تصویر پس از پولیش مقطع عرضی چپلت در چدن زمینه، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر

این فاصله که در تصویر کاملاً واضح است در واقع مسیر نفوذ و خروج آب از داخل پره دیگ را فراهم می کند.

فصل پنجم

فاز بهبود

Improve

۵-۱- اصلاحات بر مبنای نمودار های P-Chart تولید- ضایعات

همانطور که در بخش قبل (فاز تحلیل) در مورد نمودار های P تولید- ضایعات ترسیم شده در بخش اندازه گیری گفته شد، عدم کنترل فرآیند بارزترین مسئله ایست که می توان از این نمودار ها برداشت نمود. روند کاملاً غیر منطقی و پر افت و خیز تولید نشان دهنده فقدان کنترل های مؤثر بر ورودی های فرآیند و عملیاتی که در آن صورت می گیرد داشت. کنترل ها باید در دو مورد به طور مؤثر اعمال می شدند.

۱- کنترل جریان فرآیند

۲- کنترل ورودی های فرآیند

۵-۱-۱- کنترل جریان فرآیند

در این مورد بنا شد تا با طراحی برگه ای به نام "برگه کنترل فرآیند تولید و عملیات تکمیلی پره دیگ" که توسط خود افراد دست اندر کار تولید، پس از ارائه آموزش های لازم به هر یک، پر می شد، به کنترل ورودی های فرآیند و نحوه عملکرد، نظارت و کنترل داشت. در این برگه پارامتر هایی که به نظر می رسید بر تولید و سلامت پره های ریخته گری شده مؤثر می باشند مورد نظر قرار گرفتند. با توجه به این که تمامی پره های تولیدی شماره ای منحصر به فرد دارند می شد بدین طریق در مورد تاریخچه تولید هر یک از پره ها و دلایل احتمالی ضایعات آنها اظهار نظر کرد.

این برگه برای تولید پره ای خاص در یک روز به کار می رود. تمامی پره ها دارای شماره ای هستند که روز شمار تولید، نوع پره و شماره پره را مشخص می کند. اطلاعاتی که در این برگه ثبت می شود

در جلوگیری از تولید با ضایعات بالا به مسئولین کمک فراوانی می کند. شکل زیر تصویر این برگه می باشد.

شماره برگه درخت											
پارامتر کنترلی											
1	ساعت قابگیری										
2	عدم شکستن قالب										
3	نداشتن ترک در قالب										
4	عدم ترسیم قالب (کد محل)										
5	عدم وجود مانع خشک در قالب (کد محل)										
6	شماره قالب ماهیچه										
7	عدم لق بودن ماهیچه										
8	محل قرارگیری قالب در حالت (پایین - وسط - بالا)										
9	9	کد فرغ عیب									
	10	کد محل عیب									
	11	کد فرغ عیب									
12	12	کد محل عیب									
انتخابی کردن برای تولید											
توضیحات:											
تکمیل											
تایید											
تعداد کل تولید											
تاریخ تولید ماهیچه											
گروه قابگیری											
گروه مونتاژ											
گروه پالت											
ایر افور											
ذوب ریزی											

شکل ۵-۱- تصویر برگه کنترل فرآیند تولید و عملیات تکمیل دیگر

به نمونه هایی از مزایای استفاده از این برگه در ادامه اشاره خواهد شد.

۵-۱-۱-۱- ارتباط ساعت تولید و ضایعات

برای مثال پس از مدتی که از تکمیل برگه ها گذشت با جمع آوری آمار تولید- ضایعات در ساعت های مختلف روز این نکته مشخص شد که راندمان کاری کارگران قبل و بعد از ناهار تفاوت قابل ملاحظه ای می کند. از آنجاییکه کارگران می بایست طبق برنامه های از قبل تعیین شده تعداد مشخصی تولید داشته باشند، معمولاً بعد از ناهار با دقت عمل کمتر و سرعت بالاتر تولید می کردند تا به عدد مورد نظر برسند. گوشزد کردن این مسئله و برخورد با چنین پدیده ای به یکنواخت شدن روند تولید در ساعات مختلف روز منجر شد.

۵-۱-۱-۲- ارتباط شماره ماهیچه با ضایعات

مثالی دیگر که از کار آمدی این برگه در دوران استفاده از آن حین تولید قابل ذکر است در مورد جعبه ماهیچه ها^a می باشد. برای تولید ماهیچه^a هر پره^a دیگ حدود ۱۲ الی ۱۵ جعبه ماهیچه موجود است و از آنجاییکه این قالب ها در اثر عمر زیاد و استفاده مداوم فرسوده شده اند به طور مستمر باید مورد کنترل ابعادی قرار بگیرند تا یکسانی ضخامت ها در کل قطعه حفظ گردد. اما از آنجا که اعمال کنترل هایی اینچنین از حد امکانات شرکت خارج است، این برگه به عنوان ابزاری مناسب جهت اصلاح موردی جعبه ماهیچه های مورد دار به کار رفت. معمولاً ماهیچه هایی که دقت ابعادی خوبی نداشتند، به دلیل نازکی ضخامت قطعه، به ضایعات شدن قطعه می انجامند و در این مورد از آنجاییکه شماره^a ماهیچه در برگه ها ثبت شده بود، می شد به سرعت جعبه ماهیچه^a مربوطه را شناسایی و اصلاح کرد.

^a Core Box

۵-۱-۱-۳- ارتباط محل قرار گیری قالب با ضایعات

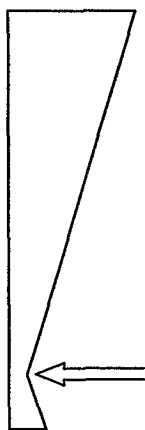
از آنجاییکه قالبها را در دسته های ۳، ۴ و ۵ تایی در پالت ها قرار می دهند، محل قرار گیری قالب در پالت (زیر، وسط و بالا) یکی از پارامتر های تأثیر گذار در تولید پره های دیگ بود. در موارد متعددی اطلاع از محل قرار گیری قالب در پالت به جلوگیری از ضایعات شدن بیشتر پره ها منجر شد. به عنوان مثال، یکی از مشکلات پیچیده ای که مدتها در مورد پره درب عقب دیگ GG مطرح بود شکست قالب بود. با اطلاعاتی که از ماه آبان بدست آمد، مشخص شد که ۲۰ مورد از ۳۶ مورد ضایعات این پره در اثر شکستگی قالب بوده است. همچنین در ماه های مهر نیز ۱۷ مورد از ۲۶ مورد و شهریور ۸ مورد از ۱۳ مورد در اثر شکستگی قالب بوده است. با مرور برگه های کنترلی پر شده این پره در ماههای مهر و آبان مشخص شد که عمده ضایعات در مورد پره هایی که در پایین و یا بالا قرار گرفته اند اتفاق افتاده است و دو پره ای که در وسط بوده اند دچار شکستگی قالب نشده اند. بدین ترتیب تعیین علت ضایعات بسیار ساده شد، دو پره بالا و پایین که در دو انتها قرار می گیرند، بیشترین فشار را متحمل می شدند و در نتیجه تنها با اضافه کردن ۳cm به پشت قالب این پره این عیب به سادگی مرتفع شد به طوریکه در ماههای بعدی تولید، در آذر هیچ مورد شکستگی قالب مشاهده نشد و در دی تنها ۲ مورد از ۱۳ مورد خرابی به علت شکستگی قالب بوده است.

۵-۱-۱-۴- معین کردن محل عیب و کاهش ضایعات

تعیین محل عیب با کد گذاری نواحی مختلف پره های دیگ نیز از دیگر اقداماتی بود که در برگه های کنترلی به ثبت می رسید. این اقدام نیز اگر چه به صورت آزمایشی و در مواردی خاص انجام گرفت، نتایجی بسیار مثبت و پر بار را به همراه داشت. از آنجاییکه حجم تولید بالا بود امکان بررسی تمامی

دیگها از طریق برش مقطع معیوب میسر نبود اما با این روش به خوبی می شد محلی را که احتمالاً تجمع و تکرار عیوب در آنجا بیشتر بود را شناسایی کرد و به بررسی همان قسمت پرداخت. مدل های مورد استفاده در قسمت قالبگیری پره های دیگ بسیار فرسوده و کهنه بودند و نیاز به کنترلی مستمر و دوره ای داشتند اما از آنجاییکه این کنترل ها مستلزم صرف وقت و هزینه بالایی بود، امکان آن عملاً میسر نمی شد. لذا تعیین محل عیب به عنوان ابزاری سودمند در جهت اصلاح موردی مدلهای به کار رفت. در مواردی نیز تعیین کد محل عیب به اصلاح سیستم راهگاهی و هواکش ها منجر گردید. دیگ ها به صورت عمودی ریخته گری می شوند و بنا بر این در قسمت فوقانی قالب نفس کش هایی به شکل صفحه با ضخامت 3 mm تعبیه شده بودند که به عنوان محل خروج گاز داخل قالب عمل کنند. اما با بررسی برگه های کنترلی مشخص شد که مکهای گازی عمدتاً در سطوح بالایی قطعه و زیر نفس کش ها تشکیل می گردند، شکل هواکش ها که به صورت ورقی نازک بود اجازه خروج گاز را به طور کامل نمی داد چرا که به علت ضخامت کم سریعاً منجمد می شد و حباب های گازی زیر آن محبوس می شدند. در مواردی نیز مکهای گازی در قسمتی تجمع زیاد داشتند که برای آن قسمت هوا کشی در نظر گرفته نشده بود و مسئولین طراح نیازی به تعبیه هواکش در این قسمت احساس نکرده بودند. بدین ترتیب مسیر های خروج هوا در قالب های مختلف به تدریج اصلاح و تقویت شد. هواکش هایی با شکل دوزنقه توسط مدلساز وقت کارخانه ساخته شد (به ابعاد مختلف برای قالب های متفاوت) و

روی مدل ها نصب گردید.



شکل روبرو تصویر شماتیکی از نفس کش های تعبیه شده روی مدل های پره های دیگ می باشد. نقطه گردنی که در اینجا با فلش مشخص شده است برای شکسته شدن و جدا

شدن آسان تر قطعه^۲ نفس کش پس از نوبریزی از پره^۲ دیگ
می باشد.

بدین ترتیب با استفاده از برگه^۲ کنترل فرآیند تولید دیگ امکان کنترل فرآیند تا حدی میسر شد. اما
کنترل ورودی های فرآیند مانند ذوب، ماسه، چسب و ... به سادگی میسر نبود.

۵-۱-۲- کنترل ورودی های فرآیند

یکی از پیچیدگی های پروژه^۲ کاهش ضایعات مشکل کنترل ورودی های فرآیند دیگری بود. عدم
ثابت بودن ورودی ها و تعداد بالای آن ها متغیر های مؤثر بر فرآیند را به شدت افزایش می داد. در
نتیجه کنترل خط و تولید در یک رنج نسبتاً ثابت را بسیار مشکل می نمود. هر یک از ورودی ها مانند
چسب قالبگیری، چسب ترمو شوک در ماهیچه گیری، ماسه^۲ قالبگیری، ماسه^۲ ماهیچه گیری، مدل ها،
جعبه ماهیچه ها، پوشان قالب، پوشان ماهیچه، ذوب، افراد و نفرات و ... به خودی خود بر فرآیند
بسیار تأثیر گذار بودند و در بالا و پایین شدن درصد ضایعات نقش ایفا می کردند. نمونه های زیر
مثالهایی از مشکلاتی بودند که در حین تولید عدم تحت کنترل بودن مواد اولیه در تولید به وجود
آورده بود.

۵-۱-۲-۱- ماسه^۲ قالبگیری

با بررسی آمار تولید- ضایعات در ماه آذر مشخص شد که ضایعات ناشی از ناخالصی های غیر
فلزی به شدت افزایش یافته است به طوریکه ۶۴ درصد ضایعات این ماه را تشکیل می دهد و در
مقایسه^۲ با ماه گذشته به (آبان ۸۳) رشد چشمگیری داشته است. - در آبان ۲۳ درصد ضایعات مربوط

به ناخالصی های غیر فلزی بوده است _ بنا به توصیه های آقای دکتر جوران در چنین مواقعی باید در پی تغییرات صورت گرفته در خط تولید بود. با پیگیری های صورت گرفته آشکار شد که به علت تغییر سیاست های قسمت خرید ریخته گری، تأمین کننده ماسه عوض شده است و ماسه از تأمین کننده ای غیر از تأمین کننده ماه آبان خریداری شده است. با اینکه ماسه جدید از نظر اندازه و توزیع اندازه ماسه مطابق با معیار های پذیرش شرکت بوده ولی مسئله ای دیگر قالبگیری با این ماسه را در قسمت دیگری با مشکل مواجه نموده بود. قالب های تولید شده با این ماسه بسیار ترد و شکننده بودند. پس از بررسی های به عمل آمده مشخص شد که PH این ماسه قلیایی تر از ماسه قدیمی می باشد. PH بالا منجر به سست شدن قالب می شود و به شدت ماسه ریزی را افزایش می دهد

۵-۱-۲-۲- درصد چسب ماسه قالبگیری

کنترل درصد چسب سیلیکات سدیم از جمله مسائلی بود که به سادگی میسر نمی شد. نمونه های مختلفی که در طول روز از مخلوط های مختلف تهیه شده ماسه مورد آزمایش قرار می گرفتند نشان از تلورانس بالای ۴ درصدی درصد چسب مخلوط ماسه داشتند. درصد چسب مخلوط ماسه بین ۴ تا ۸ درصد متغیر بود. لذا برای کاهش این خطا روی بوئکر ماسه روتاری ولو نصب گردید تا میزان ماسه خروجی از بوئکر تحت کنترل باشد. این روتاری ولو با یک تایمر کنترل می شد. بدین ترتیب ماسه خروجی از بوئکر در یک زمان ثابت مقدار ثابتی بود و چون مخزن چسب نیز ثابت بود، درصد چسب مخلوط ماسه کاملاً تحت کنترل در آمد.

۵-۱-۲-۳- چسب ماهیچه گیری

در اردیبهشت ماه ۸۳ ضایعات گازی به شدت افزایش یافت به طوریکه عمده ضایعات در اثر عیوب گازی ایجاد می شد. به طور معمول ۲۰ درصد ضایعات در اثر عیب گازی بود و در این ماه رقم به ۶۰ درصد رسیده بود. ضایعات گازی به قدری زیاد شده بود که تولید را دچار مشکل کرده بود. به مدت چند هفته بررسی ها و کندوکاو ها جهت یافتن علت و منشأ ضایعات به نتیجه ای نرسید. تا در نهایت پس از پیگیری های بی وقفه کاشف به عمل آمد که چسب ماهیچه مورد استفاده در قسمت ماهیچه گیری تاریخ مصرف گذشته است و به همین دلیل تولید گاز فراوان می کند. با تعویض چسب ماهیچه بلافاصله مشکل مکهای گازی برطرف شد و اوضاع به شرایط عادی باز گشت. در ماه بعدی تولید (خرداد ۸۳) ضایعات گازی ۲۳ درصد ضایعات تولید دیگ را تشکیل می داد که نشان از تحت کنترل بودن اوضاع داشت.

۵-۱-۲-۴- دمای ماسه قالبگیری

در فصل زمستان ۸۳ قسمت قالبگیری پره ها با مشکل بزرگی مواجه شدند که به مدت ۲ روز تولید را نا ممکن کرده بود. در قسمت قالبگیری پره های دیگ قالب ها پس از گاز دهی به استحکام مورد نظر نمی رسیدند و عمدتاً با توجه به وزن بالای قالب ها حین جابجایی خرد می شدند. کارکنان برای افزایش استحکام قالب اقدام به افزایش زمان گازدهی تا ۳ برابر حد نرمال کردند که باز نتیجه ای حاصل نشد. پس از مطالعات فشرده و انجام چند آزمایش مشخص شد که دمای ماسه عامل اصلی این خرابی ها بوده است. ماسه مورد استفاده دمایی کمتر از ۸ درجه سانتیگراد داشت. واکنش سیلیکات سدیم با گاز دی اکسید کربن در دمای زیر ۱۰ درجه سانتیگراد به کندی صورت می گیرد و قالب های

تولید شده به استحکام مناسبی نمی‌رسند [۱۰]. با گرم کردن حدود ۱۵۰ کیلو گرم ماسه تا دمای ۲۰ درجه و قالبگیری با آن به طور آزمایشی مشاهده شد که قالب‌ها مشکلی ندارند و استحکام قابل قبولی دارند. در نتیجه، از چند مشعل بزرگ برای گرم کردن ماسه^۲ درون میکسر استفاده شد و تولید طبق روال عادی ادامه یافت. در این ماجرا کنترل دمای ماسه^۲ ورودی در قسمت قالبگیری از نظر دور مانده بود.

بدین ترتیب در گامهای نخستین حرکت به سوی کاهش ضایعات، افزایش کنترل‌های مؤثر مد نظر بود و تا حدی که در توان تیم دیگ بود به آن تحقق بخشیده شد.

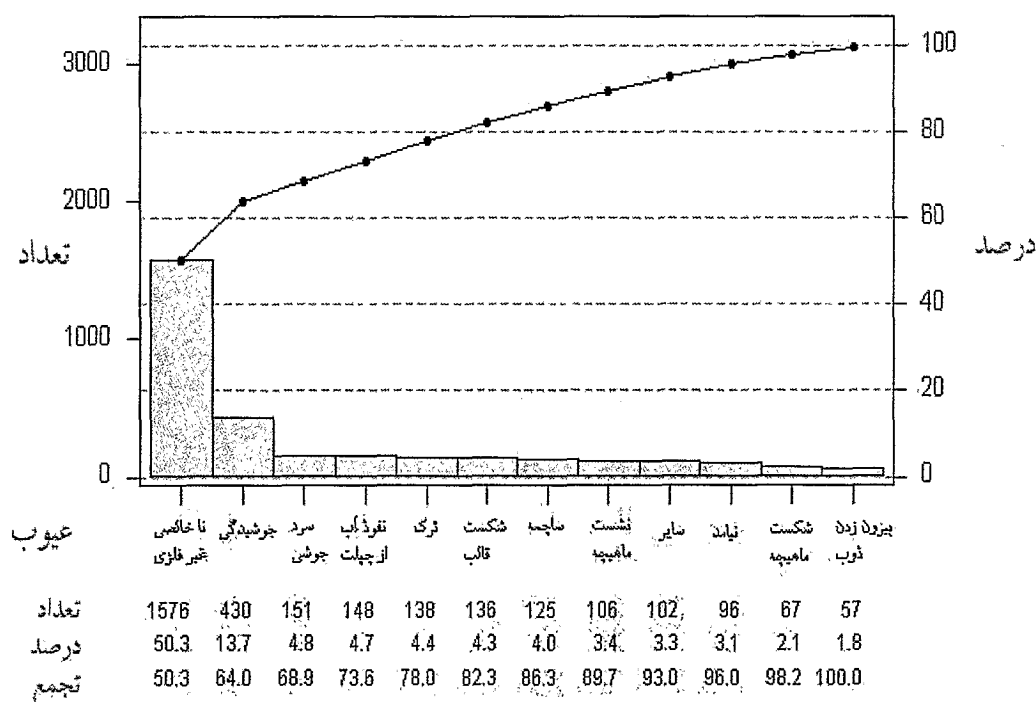
۵-۲- اصلاحات بر مبنای نمودار پارتو عیوب

در نخستین گام، همانطور که در بخش قبل (فاز تحلیل) ذکر شده بود، بنا شد تا با آموزش پرسنل کنترل کننده که تشخیص و ثبت نوع ضایعات با آنهاست، دقت آمار نوع ضایعات پره‌ها را افزایش داد. چرا که حرکت کردن بر مبنای آماری که ۳۰ درصد ضایعات تحت عنوان "سایر" ثبت شده است و از چپستی آن‌ها اطلاعاتی در دست نیست چندان منطقی به نظر نمی‌رسید. مضافاً بر اینکه در بازدیدها و کنترل‌هایی که صورت گرفت این نکته نیز آشکار شد که افراد نوع عیب را بر اساس دریافت‌ها و استنباط‌های شخصی تعیین و ثبت می‌کنند و در موارد زیادی مشاهده شد که افراد در تشخیص عیوب دچار اشتباه می‌شوند و یا اصولاً تعبیر واحدی از عیوب در میان افراد مختلف مرسوم نیست. به عنوان مثال یکی از اشتباهاتی که در قسمت تست هیدرو استاتیک رایج بود اشتباه در تمیز دادن دو عیب "سرد جوشی" و "ترک" بود و پر واضح است که هر یک از این دو عیب نام برده شده راهکارهای متفاوتی را جهت پیشگیری طلب می‌کنند. لذا به عنوان ابتدایی‌ترین گام، افراد مسئول در قسمتهای

کنترل کیفیت، تکمیل (سنگ زنی) و تست هیدرو استاتیک مورد آموزش قرار گرفتند و در همین راستا جزوه ای مصور به نام "اطلس عیوب" تدوین شد که در آن تمامی عیوب رایج با تصویر نمونه های مصداقی تعریف شده بودند. در این مرحله پرسنل مسئول حدود ۵۰ نفر ساعت آموزش دیدند. نتیجه این آموزشها و تدوین اطلس عیوب افزایش قابل توجه دقت آمار و صحت عملکرد و قضاوت افراد و ایجاد یک تعبیر یکسان از اسامی عیوب مختلف بود.

بدین ترتیب از نمودار پارتو در ماه های آتی (تیر الی آذر ۸۳) می شد به عنوان مبنایی قابل قبول و قابل اعتماد جهت تصمیم گیری در مورد راهکار های موثر بهبود استفاده کرد.

نمودار پارتو برای عیوب ریخته گری دیگ ها از تیر الی دی ۸۳



شکل ۵-۲، نمودار پارتو عیوب دیگ از تیر الی دی ماه ۱۳۸۳

با عنایت به نمودار پارتو رسم شده می شد گفت که برای موثرترین گام در جهت کاهش ضایعات باید به چاره اندیشی در مورد عیب ناخالصی های غیر فلزی پرداخت. همانطور که پیشتر نیز گفته شد، ناخالصی هایی که عمدتاً در میان حفرات راه بدر دیده می شوند از قبیل ماسه^۵ قالبگیری، ماسه^۵ ماهیچه و رنگ ماهیچه و قالب می باشد. این قبیل ذرات وقتی در درون مذاب قرار می گیرند خاصیت چسبندگی بالایی پیدا می کنند و با چسبیدن به هم منجر به ضایعات شدن قطعه می شوند. برای پیشگیری از وقوع چنین عیبی ابتدا می بایست ریشه های آن شناسایی می شدند.

۵-۲-۱- چاره جویی مشکل نا خالصی غیر فلزی

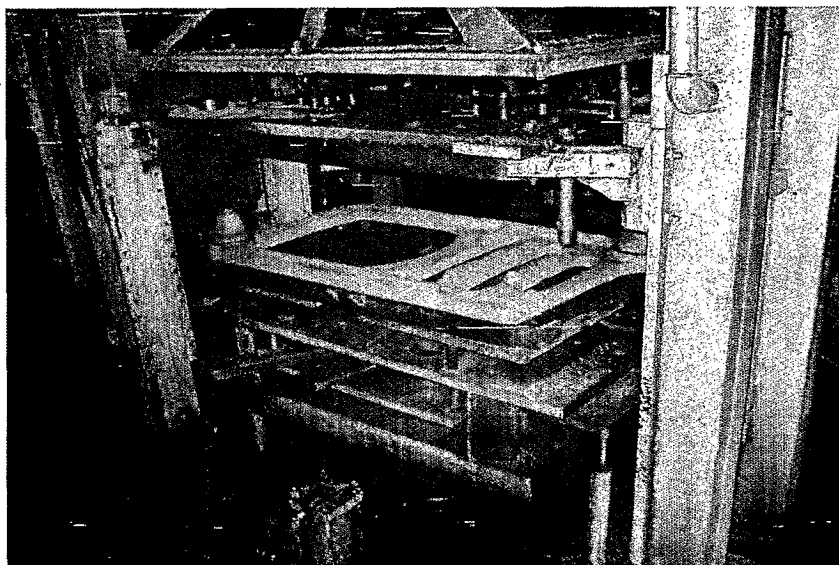
۵-۲-۱-۱- افزایش فشردگی ماهیچه ها^a

یکی از مسائلی که به تشدید عیب نا خالصی غیر فلزی کمک می کرد ماسه ریزی از ماهیچه های تولید شده بود. این ماهیچه ها با شوت شدن ماسه در داخل قالب ماهیچه و سپس یک مرحله پخت در کوره تولید می شدند. در مواردی که دو تای بالا و پایین جفت نمی شدند یا فشار هوا پایین بود ماهیچه های تولید شده پوک می شدند و به استحکام و فشردگی مطلوب نمی رسیدند. در نتیجه امکان ماسه ریزی و یا ماسه شویی در اثر برخورد مذاب به ماهیچه^۵ داخل قالب به شدت افزایش می یافت. در این موارد مشکل دیگر نیز این بود که به دلیل خلل و فرج سطحی ماهیچه ها پوشان مصرفی برای پوشش دهی خلل و فرج افزایش می یافت و امکان ورود رنگ را نیز افزایش می داد.

^a Core Compaction

برای حل این مشکل در قسمت ماهیچه گیری یک کمپرسور هوا تعبیه شد که فشار مورد نظر جهت تولید ماهیچه ای بی نقص را فراهم آورد- که در حدود ۶ الی ۶٫۵ بار بود. همچنین هوا کش هایی که روی جعبه^۲ ماهیچه نصب بود تمیز شد تا ماهیچه کاملاً پر شود و به فشردگی مورد نظر برسد.

شکل زیر تصویر دستگاه هانسبرگ تولید ماهیچه را نشان می دهد.



شکل ۳-۵: تصویر دستگاه هانسبرگ که ماهیچه هنوز در داخل تای زیر می باشد.

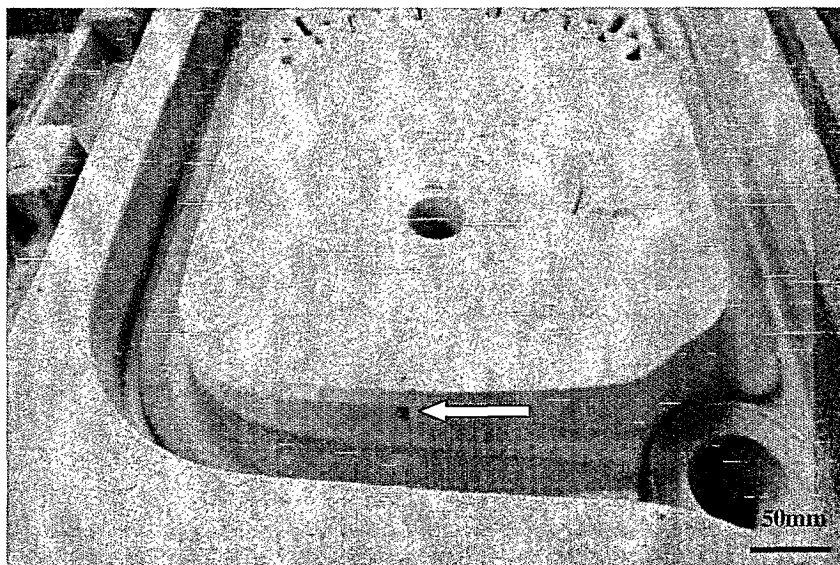
۵-۲-۱-۲-۵- کنترل ماسه^۲ مصرفی

ماسه^۲ مورد مصرف در قالبگیری پره ها نیاز به کنترل هایی شدید داشت. علاوه بر ترکیبات شیمیایی و جنس دانه های تشکیل دهنده^۲ ماسه که در قسمت قبل اشاره گردید تمیزی ماسه نیز به شدت در ایجاد عیوب ناخالصی غیر فلزی موثر بود. با توجه به این که ماسه در چاله هایی انبار می شد که کنار چاله های انبار گرافیت قرار داشت، آمیختگی گرافیت در ماسه نیز از جمله^۲ مشکلاتی بود که پیشتر بی اهمیت شمرده می شد. در این راستا محل انبارش ماسه تغییر کرد و محلی تمیز و عاری از

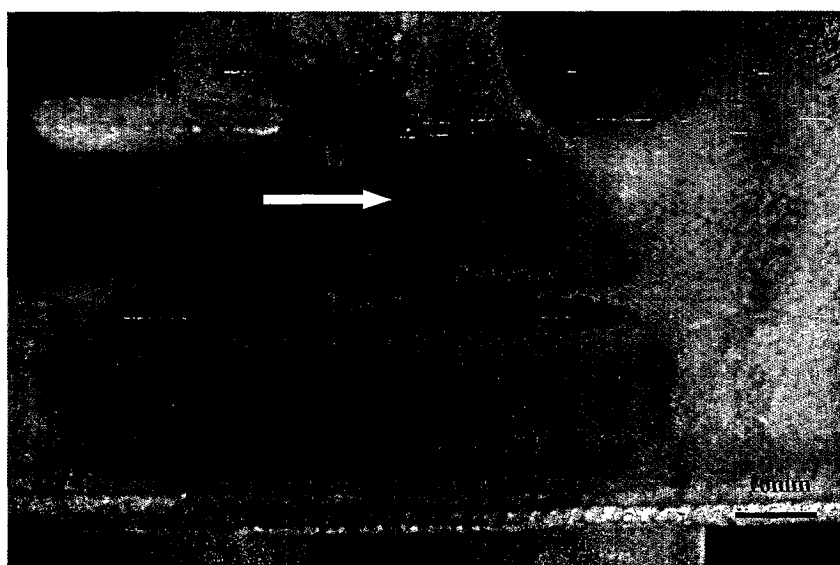
آلودگیها در نظر گرفته شد. تصاویر زیر ناخالصی های موجود در ماسه و حضور ذرات درشت گرافیت در سطح قالب و در میکسر ماسه را نشان می دهند. این دانه ها در تماس با ذوب از قالب کنده شده و داخل مذاب می شوند و منجر به ناخالصی غیر فلزی می شوند. تصاویر زیر در یک روز گرفته شده اند و دو تصویر ۴-۵ (ب) و (ج) مربوط به یک قالب می باشند.



شکل ۴-۵ (الف): تصویر ماسه درون میکسر و ناخالصی های درشت گرافیت مخلوط در ماسه



شکل ۴-۵ (ب): تصویر ناخالصی (دانه گرافیت) در سطح قالب که با فلش مشخص شده است.



شکل ۴-۵ (ج): تصویر حفره ای که در اثر ورود گرافیت به مذاب ایجاد شده است.

۵-۲-۱-۳- چسبندگی پوشان قالب

استفاده از پوشان در سطح قالب به جلوگیری از ماسه سوزی منجر می شود ولی ضخامت بالایی رنگ به کاهش چسبندگی ذرات رنگ به قالب می انجامد و با حرکت مذاب شسته شده و وارد مذاب می شود. ذرات رنگ متشکل از مواد نسوز همانند گرافیت و زیرکون می باشند. این مواد در مذاب معلق باقی می مانند و در نهایت با پیوستن به ذرات ناخالصی دیگر مانند ماسه می توانند به عیب ناخالصی غیر فلزی تبدیل شوند. کنترل ضخامت پوشان با کنترل و تعویض قطر نازل پیستوله رنگ میسر گردید. با کنترل قطر نازل از شره کردن رنگ جلوگیری شد. خشک کردن کامل رنگ توسط مشعل نیز در جهت افزایش چسبندگی رنگ به قالب اعمال گردید [۱۴]. حرارت بیش از حد نیز منجر به تردی و سستی رنگ می شد، لذا می بایست کارگران جهت رعایت یک میزان بهینه برای خشک کردن روی قالب آموزش می دیدند. عدم هم زدن و مخلوط شدن کافی نیز در افزایش احتمال وارد شدن رنگ در مذاب به صورت ناخالصی نیز مؤثر بود. از آنجاییکه بنا به برخی ملاحظات اقتصادی به جای رنگ مایع از پودر رنگ استفاده می شد و پودر رنگ نیز باید در کارگاه با الکل مخلوط می شد و میکسر رنگ نیز ظرفیت کمی داشت، زمان لازم برای مخلوط شدن رنگ و الکل فراهم نمی شد. بنا به دستورالعمل استفاده از رنگ پودری باید مخلوط رنگ حدود ۲۰ دقیقه هم می خورد و عملاً در طول روز به دلیل مصرف بالایی رنگ امکان پیروی از چنین روندی میسر نبود. لذا با هماهنگی های لازم میکسری با چندین برابر ظرفیت (۳۵۰ کیلو گرم) میکسر قبلی ساخته شد و مورد استفاده قرار گرفت.

۵-۲-۱-۴- حوضچه^۱ بارریزی

طراحی ریخته گری قطعات دیگ به صورتی است که باید پس از قرار دادن قالب ها در پالت برای آنها حوضچه^۱ بارریزی ساخته شود. با آنکه برای جلوگیری از ورود ماسه ای که حین ساختن حوضچه روی علم راهگاه از اجسامی مخروطی شکل استفاده می شد تا با بستن علم راهگاه از ورود ماسه به قالب جلوگیری کند، با این حال حین ساخت حوضچه^۱ ماسه ای مقادیر قابل توجهی ماسه وارد راهگاه می شود. برای کاهش این معضل اقدام به ساخت مکنده ای شد تا با ایجاد فشار منفی در یک لوله و داخل کردن لوله به داخل، سیستم راهگاهی از ماسه های آزاد ریخته شده تمیز شود.

۵-۲-۱-۵- اصلاح سیستم راهگاهی

سیستم راهگاهی قطعات دیگ به صورت فشاری طراحی شده بود. با در نظر گرفتن این واقعیت که در سیستم های فشاری سرعت سیلان مذاب مرحله به مرحله و پس از عبور از هر مقطع افزایش می یابد، می توان امکان ماسه شویی سطح قالب توسط مذاب و همچنین ماسه شویی از سطح ماهیچه را محتمل دانست. علی الخصوص که مذاب عبوری از راهباره ها (In gates) پس از ورود به قالب، بلافاصله با سرعت فراوان به ماهیچه برخورد می کند. این پدیده یکی از عوامل شناخته شده^{۱۴} افزایش عیب^{۱۴} ناخالصی ماسه^{۱۴} می باشد [۱۴]. اصلاحات صورت گرفته در مورد سیستم راهگاهی در قسمتهای بعدی این فصل شرح داده خواهد شد.

^a Sand Inclusion

۵-۲-۲- کاهش عیب جوشیدگی

همانطور که از نمودار پارتو بر می آید، عیب موسوم به جوشیدگی پس از ناخالصی های غیر فلزی بیشترین تکرار را داشته است و حدود ۱۴ درصد از ضایعات را در طول هفت ماه سبب شده است. عیوب گازی مورد شناسایی به صورت مک های درشت در سطح و زیر سطح قطعات بود و معمولاً در نقاطی مشخص اتفاق می افتاد و غیر قابل پراکندگی بود. از این رو میشد نتیجه گیری کرد که این عیب ناشی از واکنش مذاب و مواد قالب و ماهیچه، رطوبت، چسب، افزودنی ها و بارریزی متلاطم بوده است [۱۰]. بدین ترتیب اقدامات زیادی در جهت کاهش و کنترل این عیب انجام شد که تعدادی از آنها نیز بی نتیجه بود. خشک کردن ماهیچه ها در کوره ای با رطوبت کنترل شده زیر ۱۵ درصد و در دمای 50°C به مدت یک روز و استفاده از پوشان پایه الکلی برای ماهیچه ها از جمله اقدامات بی نتیجه و یا کم اثر بودند که ادامه نیافتند. در ادامه اقداماتی که در کنترل و کاهش این عیب مؤثر بودند شرح داده می شود.

۵-۲-۲-۱- اصلاح هواکش ها

از جمله اقدامات بسیار مفید و مؤثر در کاهش عیب جوشیدگی تقویت و اصلاح هواکش های نصب شده در قالب پره ها بود. که در قسمت ۴-۱-۱-۵ کاملاً توضیح داده شده است.

۵-۲-۲-۲- تاریخ مصرف ماهیچه ها

در مراجع زمان نگهداری ماهیچه های تولید شده به روش Warm Box نا محدود ذکر شده است به شرطی که شرایط نگهداری و انبارش آنها کاملاً رعایت شود [۱۵]. ماهیچه ها باید در محیطی به دور از رطوبت نگهداری شوند. در حالیکه در محل انبارش این ماهیچه ها معمولاً شعله های گاز شهری

روشن بود. واکنش سوختن گاز شهری منجر به تولید آب و افزایش رطوبت می گردد. در نتیجه ماهیچه ها در مدت های طولانی ۲ الی ۴ ماهه انبارش رطوبت جذب می کنند. با بررسی های صورت گرفته این فرضیه تأیید شد که با استفاده از ماهیچه هایی که مدت کوتاهی نگهداری شده اند ضایعات گازی به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. بنابراین برنامه تولید ماهیچه ها در قسمت برنامه ریزی طوری طرحریزی شد که حداکثر تا ۱۰ روز پس از تولید ماهیچه، ماهیچه ها مصرف شوند. در این راستا تعدادی از ماهیچه هایی نیز که مدت زمان نگهداری آنها به بیش از ۳ ماه میرسید منهدم گردیدند.

۵-۲-۳- اصلاح سر ماهیچه ها

با ورود مذاب به درون قالب، ماهیچه در اثر تماس با مذاب استحکام خود را از دست می دهد و این موقعیست که یک لایه سطحی نیمه جامد در اطراف ماهیچه تشکیل شده است. با فروپاشی ماهیچه گاز فراوانی تولید می شود و در صورتیکه مسیر خروج گاز هموار و فراهم نباشد گاز به داخل قطعه نفوذ خواهد کرد. در پره های دیگ دو مسیر عمده جهت خروج گاز در نظر گرفته شده است که در واقع دو تکیه گاه ماهیچه در قالب می باشند. در مواردی که این مسیر مسدود شده باشد، به اصطلاح می گویند قطعه می جوشد. بدین ترتیب اصلاح سر ماهیچه مدلهای و جعبه ماهیچه ها تا رفع فاصله بین سر ماهیچه مدل و ماهیچه صورت گرفت.

اصلاحاتی که در قسمت های قبل صورت گرفت، اصلاحاتی بودند که عمدتاً در کاهش ضایعات دیگر نیز تا حد زیادی مؤثر بودند. برای مثال افزایش دقت ابعادی و فیکس بودن سر ماهیچه در محل سر ماهیچه ها در قالب از عیوب نشست ماهیچه و شکستگی ماهیچه و بیرون زدن نوب که عمدتاً از محل

سر ماهیچه ها بود نیز جلوگیری می کرد. همینطور اصلاح سیستم راهگاهی به کاهش تلاطم مذاب حین پر کردن قالب انجامید که در نتیجه عیب ساچمه و سرد جوشی را نیز کاهش داد. عیوب سرد جوشی، آخال، نیامد، زخمه، و ماسه شویی (ماسه سایی) در اثر سیستم راهگاهی نا مناسب تشدید می شوند [۱۶].

۵-۲-۳- اصلاح ماسه قالبگیری

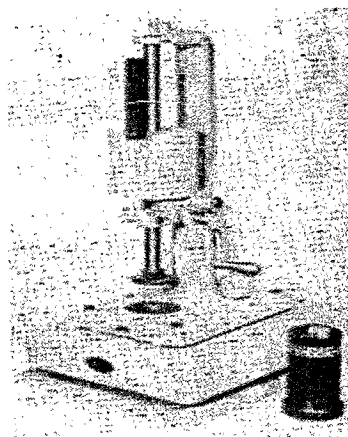
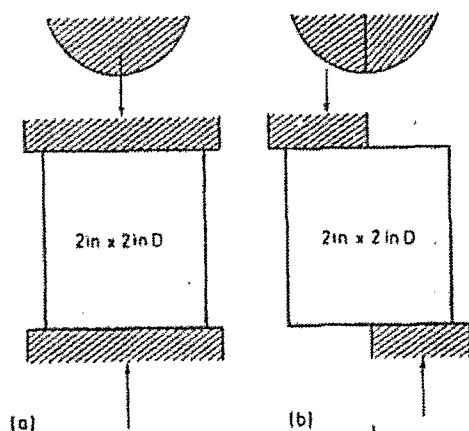
همانطور که در فاز تحلیل و بر اساس دیاگرام علت و معلول ضایعات دیگ گفته شد. یکی از عوامل اصلی در معیوب بودن پره های دیگ استحکام نامناسب ماسه^۲ قالبگیری می باشد. دما، اندازه و توزیع دانه، درصد چسب و PH ماسه عوامل تعیین کننده و کنترل کننده^۳ استحکام ماسه می باشند. اندازه و توزیع دانه و در صد چسب ماسه از جمله متغیرهایی هستند که در هر محموله^۴ ماسه خریداری شده ممکن است تغییر کند. تغییر دما تنها در اثر تغییر فصول و تغییر PH ماسه در اثر استفاده از ماسه^۵ یکی از معادن دامغان و یا ماسه^۶ بازیافت شده اتفاق می افتاد. در حالیکه اندازه و توزیع دانه و درصد چسب ماسه مرتباً در محدوده ای خاص تغییر میکردند. اندازه^۷ دانه^۸ ماسه بسته به تأمین کننده^۹ ماسه از رنج عدد ریزی ۱۵۰ تا ۱۷۰ و درصد چسب ماسه^{۱۰} قالبگیری بسته به دقت اپراتور میکسر ماسه بین ۵ تا ۸ درصد تغییر می کرد. تغییر عدد ریزی و درصد چسب ماسه^{۱۱} قالبگیری در میزان گاز Co_2 مصرفی و استحکام نهایی قالب موثر بودند. افزایش میزان گاز مصرفی ارزش افزوده^{۱۲} فرآیند تولید را کاهش می داد و استحکام نهایی تاثیری جدی بر سلامت قطعه^{۱۳} ریختگی داشت. لذا آزمایشاتی طراحی شد تا با تعیین استحکام فشاری و برشی بر حسب عدد ریزی و درصد چسب در دو دمای مختلف صورت گیرد و بهینه مخلوط ماسه به دست آید.

۵-۲-۳-۱- طراحی آزمایشات برای تعیین مخلوط بهینه ماسه قالبگیری

با توجه به رنج نوسانات عدد ریزی ماسه مصرفی از ۱۵۰ تا ۱۷۰ و درصد چسب ماسه قالبگیری از ۵ تا ۸ درصد، آزمایشهایی جهت بررسی تأثیر تغییرات فوق بر استحکام برشی و فشاری ماسه در دو دمای مختلف طرح ریزی شد. بدین منظور، استحکام برشی و فشاری نمونه های ماسه در دو دمای ۱۰ و ۲۵ درجه سانتیگراد با درصد چسبهای ۵، ۶ و ۷ درصد و سه عدد ریزی ۱۵۰، ۱۶۱ و ۱۷۲ مورد آزمایش قرار گرفتند. طراحی این آزمایشها به نحوی صورت گرفته بود که به طور کامل بر هم کنش پارامترها (درصد چسب، عدد ریزی ماسه و دمای ماسه) قابل بررسی باشند. به این ترتیب که مثلاً از ماسه با عدد ریزی ۱۵۰ سه مخلوط ۵، ۶ و ۷ درصد چسب در دو دما تهیه شد و تمامی آزمایشات استحکام برشی و فشاری در دو دما انجام شد. آزمایش ها برای هر نمونه با درصد چسب، عدد ریزی و دمای مشخص ۳ بار تکرار شد و میانگین اندازه گیری ها در رسم منحنی ها به کار گرفته شدند. در این آزمایش ها از گاز دی اکسید کربن برای خشک کردن قالب استفاده شد. قالب های استاندارد به مدت ۳۵ ثانیه با دبی ۱۵ لیتر بر دقیقه با گاز دی اکسید کربن گازدهی شدند. برای تهیه نمونه های این تست ها بنا به دستورالعمل AFS^a از دستگاه کوبه آزمایشگاهی استفاده شد نمونه های تولید شده همگی استوانه هایی با ابعاد یکسان $2^{in} \times 2^{in}$ بودند که پس از ۳ بار کوبیدن با وزنه ثابت مورد آزمایش قرار می گرفتند. دستگاهی که برای آزمایشهای استحکام برشی و فشاری استفاده می شد یکسان بود و فقط باید فکهای دستگاه عوض می شدند. شکل های زیر به ترتیب تصاویر دستگاه کوبه،

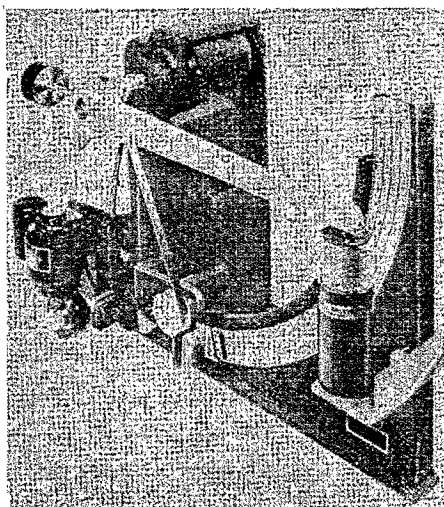
^a American Foundry men's Society

دستگاه آزمایش استحکام و شکل فک ها را در دو آزمایش استحکام فشاری و برشی را نشان می دهند [۱۷]. در این آزمایش ها از دستگاه +GF+ استفاده گردید.



شکل ۵-۶ : تصویر دو فک آزمایش های استحکام فشاری و برشی

شکل ۵-۵ : تصویر دستگاه ماسه کوب

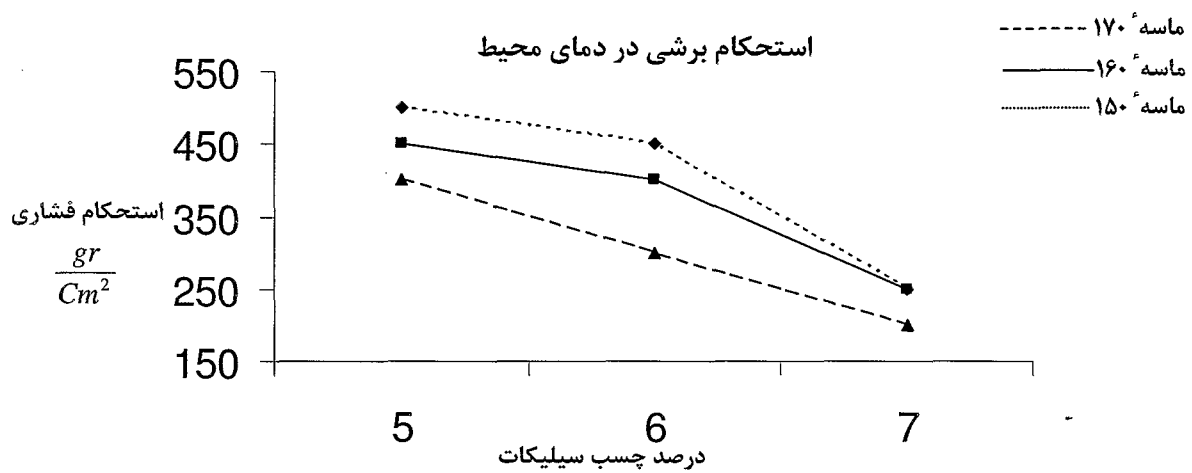


شکل ۵-۷ : تصویر دستگاه تعیین استحکام

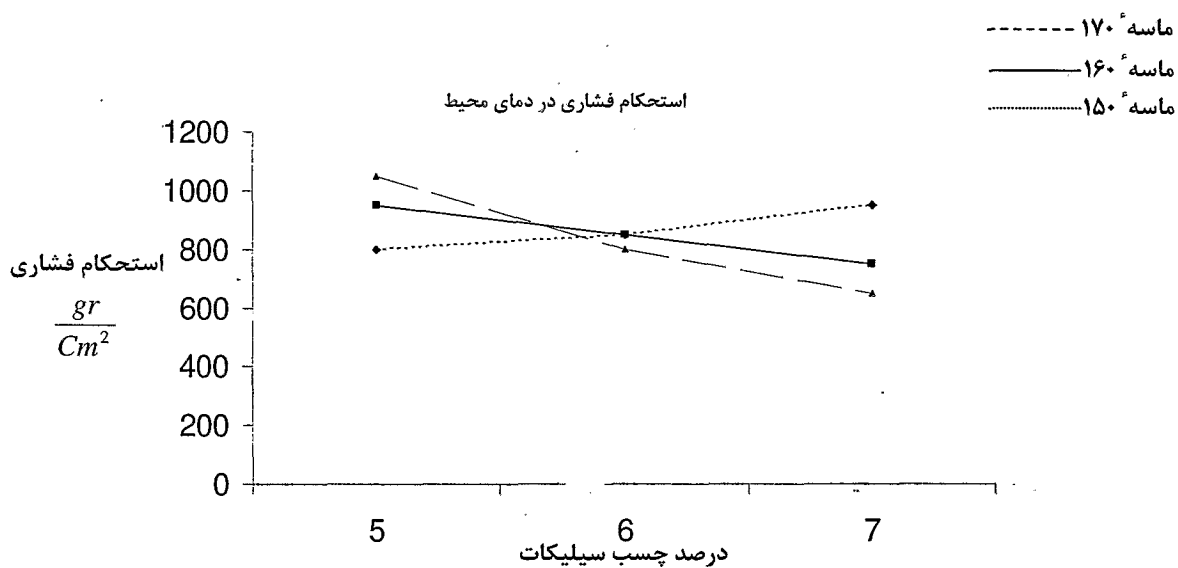
۵-۲-۳-۲- نتایج آزمایش ها

با رسم نتایج حاصل از آزمایشات تست استحکام برشی و استحکام فشاری بر حسب درصد چسب

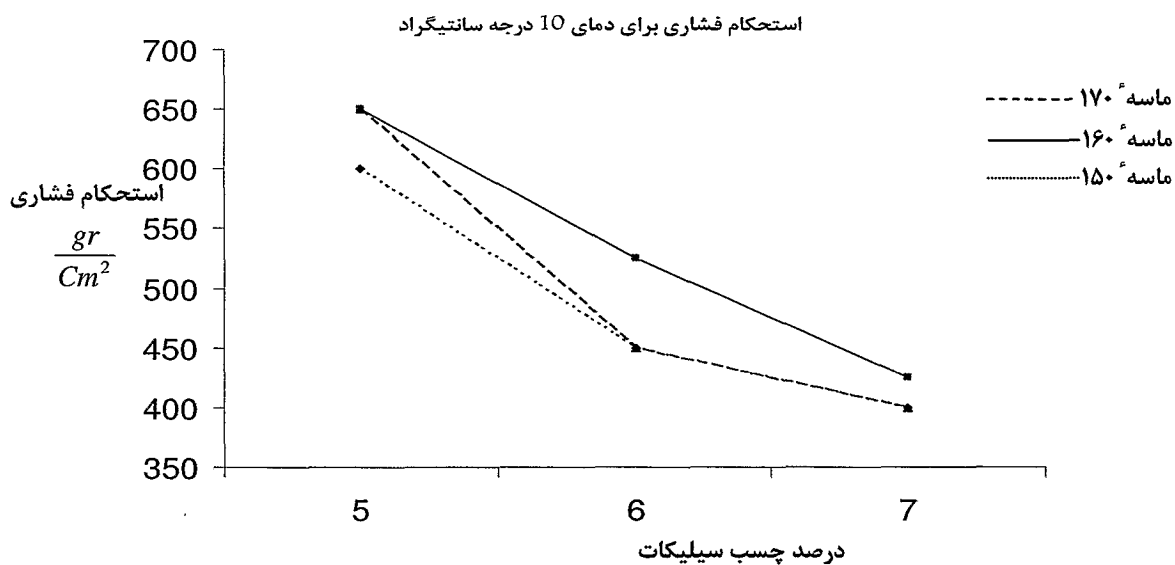
شکل های ۵-۸ تا ۵-۱۱ بدست آمدند. این منحنی ها با نرم افزار EXCEL رسم شدند.



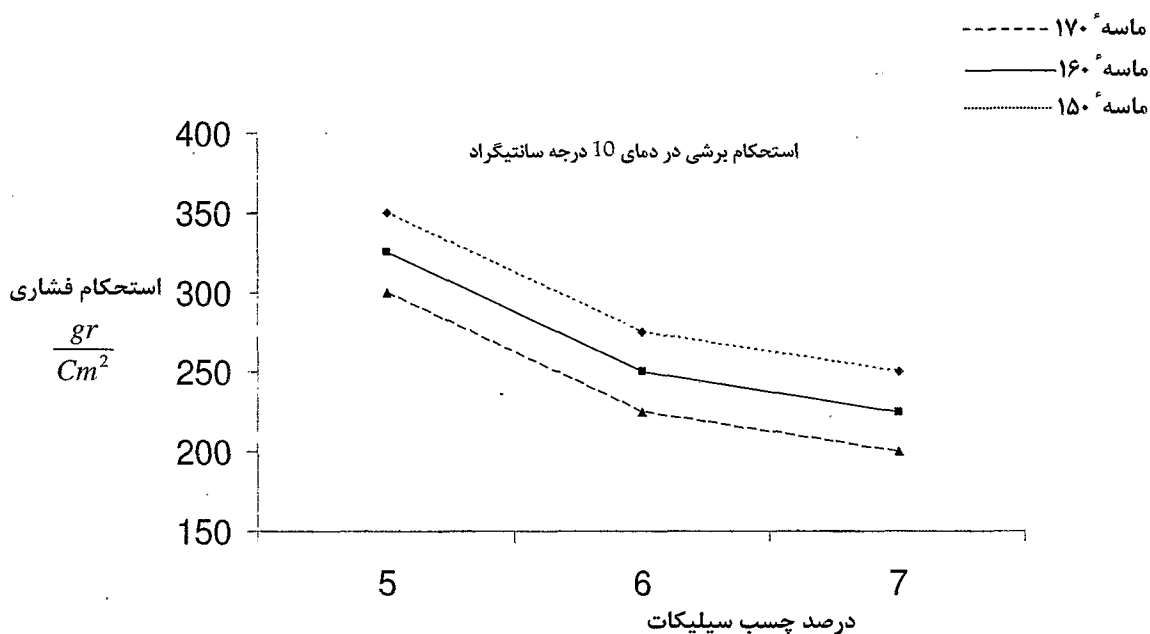
شکل ۵-۸ : منحنی استحکام برشی ماسه در دمای محیط با درصد چسب و عدد ریزی متغییر



شکل ۵-۹: منحنی استحکام فشاری ماسه در دمای محیط با درصد چسب و عدد ریزی متغیر



شکل ۵-۱۰: منحنی استحکام فشاری ماسه در دمای ۱۰°C با درصد چسب و عدد ریزی متغیر



شکل ۵-۱۱: منحنی استحکام فشاری ماسه در دمای ۱۰°C با درصد چسب و عدد ریزی متغیر

نتایج آزمایشات استحکام فشاری و برشی ماسه نشان می داد که:

۱. دمای ماسه تأثیری قابل ملاحظه در کاهش استحکام فشاری و برشی نمونه ها داشت.
۲. در دمای محیط ماسه^۱ با عدد ریزی ۱۵۰ زودتر به استحکام می رسد.
۳. استحکام برشی ماسه^۱ با اندازه دانه^۲ ریزتر بیشتر در دمای پایین به مراتب بیشتر است. در حالیکه استحکام ماسه^۱ با اندازه دانه^۲ درشت تر در دمای محیط بیشتر است. توجیه این تناقض به این صورت است که در دمای بالا چون واکنش گاز-چسب تا حد زیادی انجام می شود و قابلیت نفوذ پذیری گاز در ماسه^۱ دانه درشت تر به مراتب بهتر است، استحکام این ماسه در گاز دهی یکسان بیشتر خواهد بود. حال آنکه در دمای پایین به دلیل عدم پیشرفت واکنش چسب-گاز، عملاً استحکام خام نمونه اندازه گیری می شود و استحکام خام نمونه^۱

ماسه ای با افزایش عدد ریزی ماسه افزایش می یابد [۱۷]. دقیقاً این اتفاق را می توان از

مقایسه نمودار استحکام فشاری در دو دما دمای به این واقعیت پی برد.

۴. غالباً (به غیر از استحکام فشاری در دمای محیط) افزایش درصد چسب به کاهش استحکام

منجر می شود.

با توجه به ثابت بودن پارامتر گازدهی در تمامی نمونه ها، تفاوت استحکام در هر نمونه را می توان

به تفاوت میزان گاز لازم برای واکنش گاز CO_2 و چسب سیلیکات سدیم مربوط دانست، به عبارتی

این نمودار ها به نحوی میزان گازی که باید مصرف شود تا هر مخلوط مشخص ماسه به استحکام

برسد را نیز نشان می دهد.

قابلیت نفوذ پذیری گاز در قالب های ماسه ای به عدد ریزی ماسه و درصد مخلوط ماسه بستگی

دارد. بدین ترتیب با کاهش عدد ریزی و افزایش درصد چسب قابلیت نفوذ پذیری قالب ماسه ای

کاهش می یابد. به همین دلیل می توان کاهش استحکام فشاری و برشی را در مورد نمونه های با

درصد چسب یا عدد ریزی بالا توجیه کرد. نفوذ به عمق این نمونه ها، در مقایسه با نمونه های دیگر

، با درصد چسب یا عدد ریزی پایین تر، برای گاز CO_2 مشکل تر می باشد. لذا قسمت هایی از نمونه

در زمان گاز دهی آزمایش به استحکام نمی رسند. بررسی مقطع این نمونه ها بعد از شکست نیز

مؤید این ادعا بود چه مرکز نمونه ها عموماً خشک نشده بودند و تقریباً به صورت خام باقی مانده

بودند. علاوه بر این که قابلیت پایین نفوذ پذیری گاز منجر به افزایش مصرف گاز CO_2 می شود، به

ایجاد مک های گازی پس از نوبریزی نیز کمک می کنند. مقادیر زیادی گاز پس از ورود مذاب به قالب

از داخل قالب متصاعد می شوند و پایین بودن قابلیت عبور دهی گاز به حبس گاز ها در مذاب و ایجاد

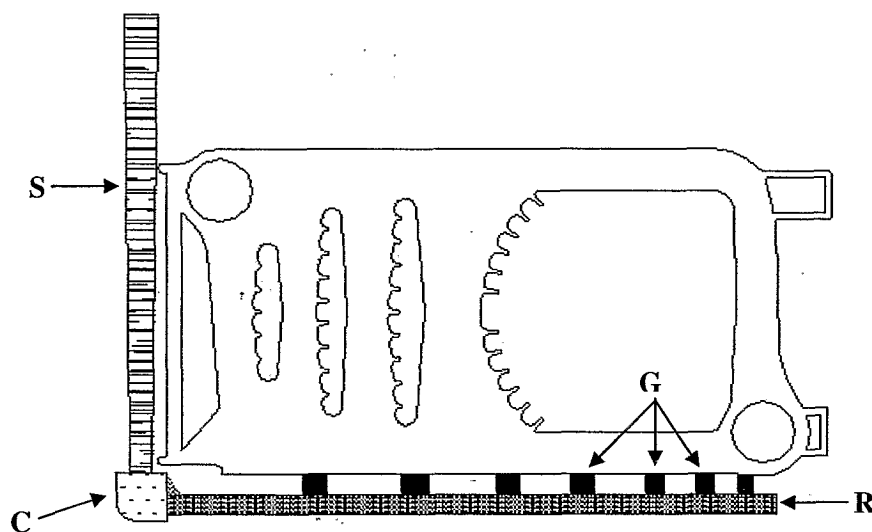
مک های گازی منجر می شود.

در نتیجه می توان با احتساب کلیه موارد مطرح شده مخلوط ماسه با عدد ریزی ۱۶۰ و ۵ درصد چسب می تواند به نوعی بهترین گزینه جهت استفاده در قالبگیری پره های دیگ به حساب آید.

۵-۳- اصلاح سیستم راهگاهی

همانطور که در فصل تحلیل نقشه مدلهای گفته شد، سیستم راهگاهی دیگ ها بر مبنای سیستمی فشاری طراحی شده بود و مذاب پس از عبور از راهبار ها با سرعت زیاد به طور مستقیم به ماهیچه برخورد می کرد. همچنین به دلیل عدم وجود یک نظم و ترتیب منطقی در چیدمان راهبار ها، تصمیم گرفته شد تا سیستم راهگاهی پره های دیگ به طور کامل از ابتدا طراحی و ساخته شود.

سیستم راهگاهی پره های زیادی اصلاح شد اما به عنوان نمونه رویه طراحی سیستم راهگاهی غیر فشاری پره وسط TGG شرح داده می شود. در سایر پره ها نیز متدولوژی طراحی مشابه بوده است. شمای کلی دید از بالای سیستم راهگاهی پره وسط TGG، قبل از تغییر، در شکل ۵-۱۲ نشان داده شده است. این نقشه با نرم افزار AutoCAD رسم شده است.



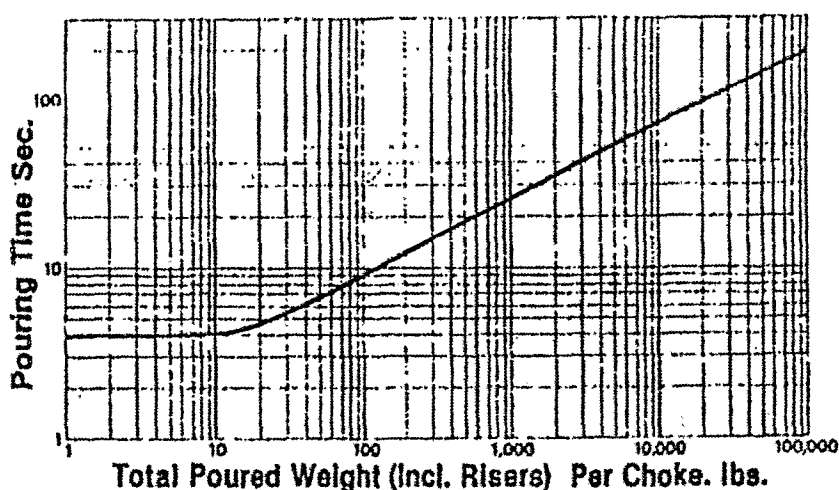
شکل ۵-۱۲: نقشه مدل پره وسط TGG به همراه سیستم راهگای آن

در این تصویر قسمت های مختلف سیستم راهگای با حروف مشخص شده اند. ^aS، نشان دهنده علم راهگاه، ^bC، نشان دهنده حوضچه پای راهگاه، ^cR، نشان دهنده راهبار و ^dG، راهبارها را نشان می دهند. مشخص است که گیت های ورودی مذاب روبروی ماهیچه قرار دارند و مذاب در بدو ورود به قالب با سرعتی بالا به ماهیچه برخورد خواهد کرد. در طراحی سیستم راهگای این پره از دو روش استفاده شد که در نهایت به اعداد مشابهی دست یافته شد.

-
- ^a Sprue
 - ^b Sprue Base
 - ^c Runner
 - ^d Gate

۵-۳-۱- طراحی با روش محاسباتی

در این روش با در نظر گرفتن وزن قطعه و زمان مناسب برای پر کردن قطعه طراحی انجام می گیرد. شکل زیر نمودار زمان مناسب ذوبریز را در برابر وزن قطعه نشان می دهد [۱۸]. با استفاده از این نمودار می توان زمان مناسب برای ذوبریزی پره^۱ وسط TGG را دریافت. پره^۱ وسط TGG حدوداً ۱۰۲ کیلوگرم (۲۲۴ پوند) می باشد. لذا با توجه به نمودار شکل ۵-۱۳ می توان در یافت که این قطعه بهتر است ظرف ۱۲ ثانیه پر شود.



شکل ۵-۱۳: نمودار زمان ذوبریزی بر حسب وزن قطعه^۱ ریخته گری

در این روش طراحی ابتدا سطح مقطع تنگه^a تعریف می شود و بر مبنای این که سیستم فشاری یا غیر فشاری باشد محل تنگه و نسبت مقاطع قبلی و بعدی تعیین می گردد. روابط زیر بر مبنای قوانین سیالات نیوتن، پیوستگی و پاسکال استخراج شده اند و به طور موثر در طراحی سیستم های راهگای قطعات مختلف به کار می رود [۱۹].

^a Choke

$$Ac = (k.w) / t \sqrt{ESH}$$

و

$$ESH = H - P^2 / 2.C$$

ثابت، در محاسبات ۷،۵ در نظر گرفته شده $k =$

ارتفاع علم راهگاه $H =$

ارتفاع قطعه بالایی تنگه $P =$

ارتفاع کل قطعه $C =$

زمان پر شدن قطعه $t =$

ESH = (Effective Sprue Height) ارتفاع مؤثر علم راهگاه

سطح مقطع تنگه $A_c =$

با توجه به نقشه های تهیه شده از مدل پره وسط TGG می توان مقادیر P, H و C را بدست آورد.

$$H = 780 \text{ mm}$$

$$C = 500 \text{ mm}$$

$$t = 12 \text{ Sec}$$

$$P = 50 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} H = 780 \text{ mm} \\ C = P = 500 \text{ mm} \end{array} \right\} \Rightarrow ESH = 78 - \frac{50}{2} = 53 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} ESH = 53 \text{ cm} \\ t = 12 \text{ Sec} \\ k = 7.5 \\ W = 102 \text{ Kg} \end{array} \right\} \Rightarrow Ac = 8.5 \text{ cm}^2 \Rightarrow Dc = 33 \text{ mm}$$

در این طراحی انتهای علم راهگاه به عنوان تنگه انتخاب شد و نسبت ها از روی آن تعیین شد. لذا قطر

۳۳ میلیمتر مربوط به انتهای پایینی علم راهگاه می شود و می توان با استفاده از قانون پیوستگی قطر

مقطع بالایی علم راهگاه را نیز محاسبه کرد.

در مورد محاسبات فوق باید دو نکته مد نظر قرار گیرد. اول اینکه در محاسبه ارتفاع H سهم

حوضچه بارریزی که بعد از قالبگیری روی علم راهگاه نصب می شود منظور شده است. این ارتفاع

در حدود ۱۰ سانتیمتر می باشد. نکته دوم اینکه از فاصله بین لبه پاتیل و حوضچه در حین بارریزی

صرف نظر شده است.

بنا به قانون پیوستگی^a، دبی مذاب در جریان در طول علم راهگاه ثابت است. بدین ترتیب از روابط زیر می توان دو مقطع بالا و پایین علم راهگاه را معین کرد.

$$\left. \begin{array}{l} (1) \quad A_c V_c = A_1 V_1 \\ (2) \quad V = \sqrt{2gh} \end{array} \right\} \Rightarrow A_c \sqrt{h_c} = A_1 \sqrt{h_1} \Rightarrow A_1 = 19 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = 19 \text{ cm}^2 \Rightarrow D_1 = 5 \text{ cm}$$

در نتیجه مقطع بالایی علم راهگاه باید به قطر ۵۰ میلیمتر باشد.

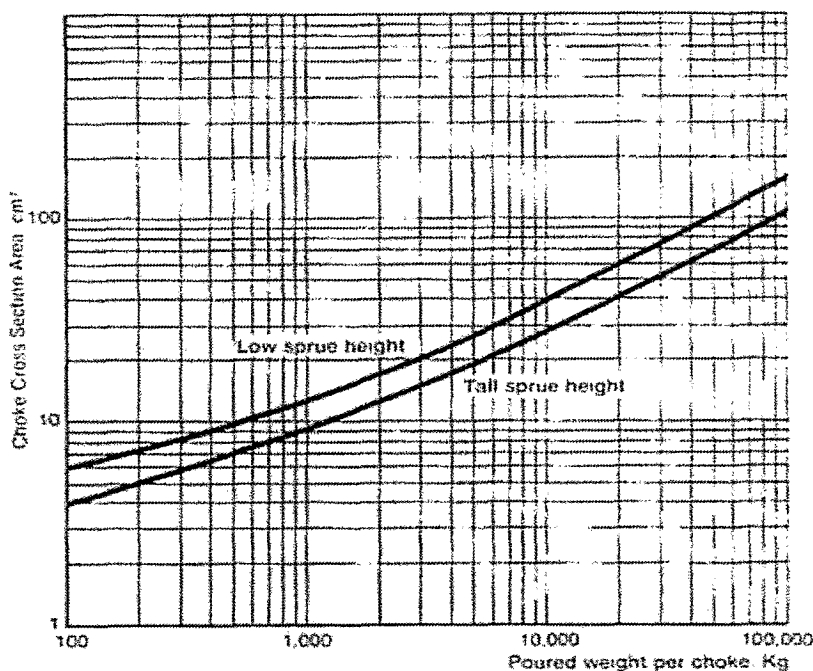
سایر مقاطع نیز با توجه به محدودیت جا در داخل کلاف با در نظر گرفتن نسبت ۱:۱٫۵:۲ طراحی شدند. به نحوی که سطح مقطع راهبار ۱٫۵ برابر سطح مقطع تنگه و سطح مقطع کل راهبارهای ورودی ۲ برابر سطح مقطع تنگه تعریف شدند.

$$\begin{array}{ll} A_c = 8.5 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_r = 12 \text{ cm}^2 & A_r = \text{سطح مقطع رانر} \\ A_c = 8.5 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_g = 18 \text{ cm}^2 & A_g = \text{سطح مقطع کل گیت} \end{array}$$

برای طراحی مقطع راهبار، از آنجاییکه توصیه شده نسبت ارتفاع به عرض راهبار ۲ به ۱ در نظر گرفته شود، مقطع راهبار با ابعاد متوسط ۵۰×۲۵ mm در نظر گرفته شد و به دلیل مشکلات قالبگیری مقطع به ارتفاع ۵۰ mm، مقطع راهبار در دو تایی زیر و رو (هر یک به ارتفاع ۲۵ mm) طراحی گردید. برای طراحی مقطع راهبار، توصیه شده است که از چند گیت کوتاه به جای یک گیت بلند استفاده شود برن منظور برای رسیدن به سطح مقطع کل ۱۸ cm² از ۵ راهبار با ضخامت ۳ mm و طول ۱۲۰ mm استفاده کرد.

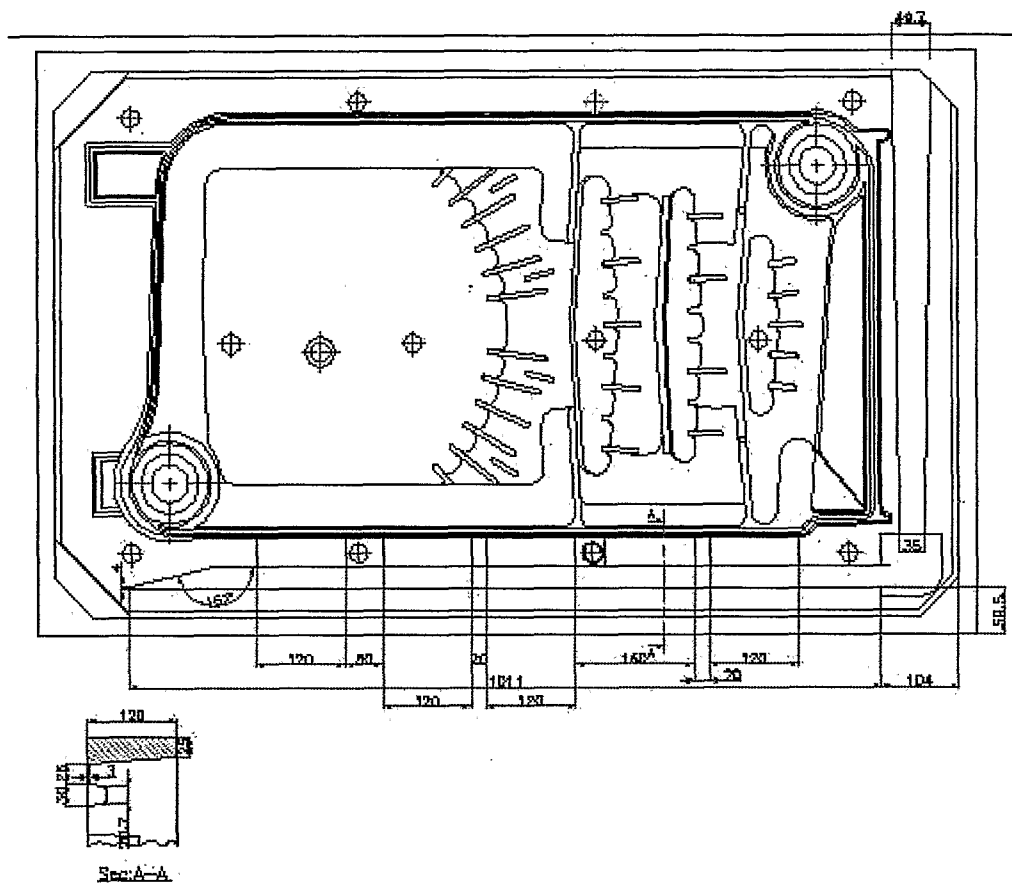
^a Low of Continuity

روش دیگری که در محاسبه ابعاد و اندازه های سیستم راهگاهی می توان به کار برد استفاده از نمودار هایی است که سطح مقطع مناسب تنگه را برحسب وزن قطعه پیشنهاد می دهند. شکل زیر یکی از نمودار هایی است که می توان بدین منظور از آن استفاده کرد [۲۰].



شکل ۵-۱۴، نمودار سطح مقطع تنگه بر حسب وزن قطعه ریخته گری

تصویر زیر نقشه مدل قطعه پره وسط TGG است که با نرم افزار AutoCAD رسم شده است. در این تصویر شکل، چیدمان و ابعاد مربوط به سیستم راهگاهی نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۵: نقشه مدل پره وسط TGG پس از اصلاح سیستم راهگاهی

برش A-A در شکل فوق نمای جانبی مقاطع رانر و گیت را نشان می دهد. به دلیل محدودیت هایی که در طراحی این سیستم وجود داشت امکان اجرای اصولی مانند منشعب شدن راهبار از نیمه^۲ بالایی حوضچه^۲ پای راهگاه میسر نبود. زیرا تغییر کلاف قالبگیری هزینه هایی فراوان در بر داشت و نیاز به صرف زمان زیادی داشت.

۵-۳-۱-۱- مقایسه دو سیستم راهگاہی قدیم و جدید

۱- سیستم راهگاہی جدید بر مبنای سیستم غیر فشاری طراحی شده است در نتیجه احتمال

سایش و ماسه شوری در این سیستم کمتر از سیستم قدیمی است [۲۱].

۲- با اینکه سیستم راهگاہی جدید بر مبنای سیستم غیر فشاری طراحی شده است، راندمان

ریختگی ۸۷ درصدی آن چندان بیشتر از راندمان ریختگی ۸۹ درصدی سیستم قبلی نمی

باشد.

راندمان ریختگی عبارتست از نسبت وزن قطعه به وزن کل مذاب مصرفی.

$$R1 = \frac{102 \text{ kg}}{114.5 \text{ kg}} = 89\%$$

راندمان ریختگی سیستم قبلی = R1

$$R2 = \frac{102 \text{ kg}}{117 \text{ kg}} = 87\%$$

راندمان ریختگی سیستم جدید = R2

سیستم راهگاہی جدید تنها ۲،۵ کیلوگرم از سیستم قبلی سنگین تر بود.

۳- از معایب سیستم راهگاہی غیر فشاری امکان بالای ورود ناخالصی ها از طریق سیستم

راهگاہی می باشد چرا که گفته می شود در این سیستم کانال های ورود مذاب مرتباً فراختر

می شود. اما در سیستم راهگاہی طراحی شده فوق ضخامت گیت های ورودی در حدود ۳

میلیمتر طراحی شده تا این عیب را کاملاً بر طرف کند.

۴- انتهای راهبار در سیستم راهگاہی جدید طوری طراحی شده تا نقش آشغالگیر داشته باشد.

۵- طراحی ابعاد این سیستم بر اساس قوانین اثبات شده سیالات می باشد در صورتیکه سیستم

قبلی کاملاً به صورت تجربی و بر اساس سعی و خطا طراحی و نصب شده بود.

۶- با استفاده از روابط 3-4 و 5-4 می توان سرعت حرکت مذاب و عدد رینولدز را در راهباره های سیستم راهگامی جدید بدست آورد. در سیستم راهگامی جدید ۵ راهباره با سطح مقطع های برابر $3/5 \times 120$ میلیمتر مربع مذاب را به داخل قالب معرفی می کنند.

$$\left. \begin{array}{l} m_0 = 12 \frac{Kg}{Sec} \\ \rho_0 = 7500 \frac{Kg}{m^3} \\ n = 5 \\ A_3 = 0.12 \times 0.0035 \end{array} \right\} \Rightarrow V_3' = 0.75 \text{ m/Sec}$$

V_3' ، سرعت سیلان مذاب در مقطع راهباره می باشد. با مقایسه^۴ این عدد با سرعت حرکت مذاب در راهباره^۵ سیستم راهگامی قبلی که $1/4$ (Cm/Sec) بود می توان در یافت که سیستم راهگامی جدید تا چه حد می تواند در کاهش تنش برشی وارده از طرف مذاب به قالب ماسه ای موثر^۶ باشد.

۵-۴- اصلاح چپلت ها

چپلت یک فاصله دهنده^۴ برای نگهداری ماهیچه در موقعیت صحیح آن هنگام ذوبریزی در داخل قالب می باشد [۵]. چپلت ها معمولاً از فولاد کم کربن با پوشش قلع به روش غوطه وری گرم^۵ تولید می شوند تا از زنگ زدگی سطح چپلت ها جلوگیری شود. همچنین می توان چپلت ها را پوشش دهی قلع و مس به روش الکتروپلیتینگ کرد. چپلت ها در مواقعی استفاده می شوند که تکیه گاه های ماهیچه برای

^a Spacer

^b Hot Dip

نگهداری ماهیچه در محل خود کافی نباشند. در این موارد از چپلت ها استفاده می شود تا حرکت و جابجایی ماهیچه درون قالب را به حداقل رسانند.

استفاده از چپلت ها ممکن است به مشکلاتی که در زیر اشاره می شود منجر شود:

۱- عدم نفوذ (جوش خوردگی)^a: عدم نفوذ چپلت در فلز زمینه در مواردی که از چپلت بسیار

ضخیم استفاده شود و یا دمای ریخته گری پایین باشد اتفاق می افتد. عدم نفوذ در مخازن

تحت فشار منجر به نشئی می شود و همچنین در قطعات ریختگی استحکام مکانیکی قطعه را

کاهش می دهد.

۲- نوب زود هنگام^b: از بین رفتن چپلت در اثر نوب زود هنگام منجر به کاهش دقت ابعادی و

عمل نکردن چپلت به عنوان نگهدارنده ماهیچه می شود.

۳- حفره^c: در اثر استفاده از چپلت های مرطوب و یا زنگ زده حفره در قطعه ریختگی مشاهده

می شود.

۴- گرافیت نا خواسته^d: اگر پوشش سطحی چپلت حاوی سرب باشد گرافیت نا خواسته در

مجاورت چپلت دیده می شود [۲۲].

همانطور که در فاز تحلیل متالوگرافی مقاطع چپلت ها نیز گفته شد، عدم نفوذ ستون چپلت در چدن

زمینه مشکلی است که شرکت با آن مواجه بوده است و سایر مسایل در رابطه با چپلت ها خارج از

موضوع بودند.

^a Lack of Fusion

^b Premature Fusion

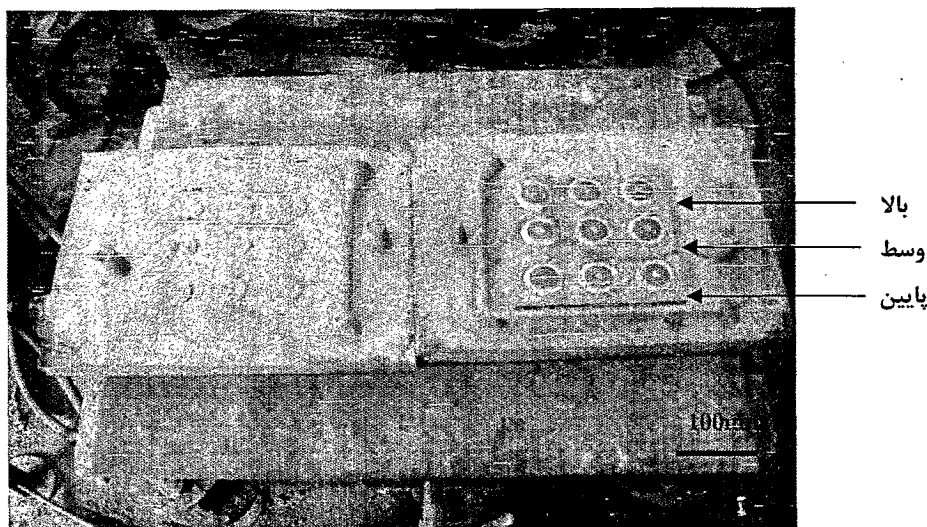
^c Blowholes

^d Undesirable Graphite

۵-۴-۱- طراحی آزمایشات

در این رابطه چپلت هایی با جنس پوشش مختلف و شکل ستون متفاوت مورد آزمایش قرار گرفتند. ابتدا یک قطعه^a نمونه آزمایش^a طراحی و ساخته شد. در ساخت این تست بلوک سعی شده بود تا شرایط حاکم در ریخته گری پره های دیگ به نحوی شبیه سازی شود. بدین منظور قطعه^a تست بلوک نسبت وزن ذوب به وزن ماسه^a قالب و ضخامت دیواره های مشابهی با پره^a وسط TGG داشت. از آنجاییکه در پره های دیگ چپلت ها در دو سطح از نظر ارتفاع قرار می گرفتند و چپلت های بالایی به دلیل کاهش دمای ذوب در این سطوح بیشتر آب می دادند، در طراحی تست بلوک نیز چیدمان چپلت ها طوری تنظیم گردید که سه نوع چپلت یکسان در یک ستون و سه ردیف مختلف قرار بگیرند. بدین ترتیب می شد شرایط حاکم بر چپلت در ارتفاع بالای تست بلوک را با شرایط حاکم بر چپلت قرار داده شده در بالای پره^a دیگ مشابه دانست. تست بلوک از سه ستون تشکیل میشد و بدین ترتیب ۹ چپلت در هر بار آزمایش می شد. تصویر ۵-۱۶ نشان دهنده^a تای رو و تای زیر مدل تست بلوک می باشد. وزن این قطعه ۱۰ کیلو گرم بود و سیستم راهگای آن به صورت غیر فشاری طراحی شده بود. قطعه □ تست بلوک با ابعاد $30 \times 30 \times 3$ سانتیمتر ساخته شد.

^a Test Block



شکل ۵-۱۶- تصویر دو تایی (تای رو و تای زیر) قالب تست بلوک

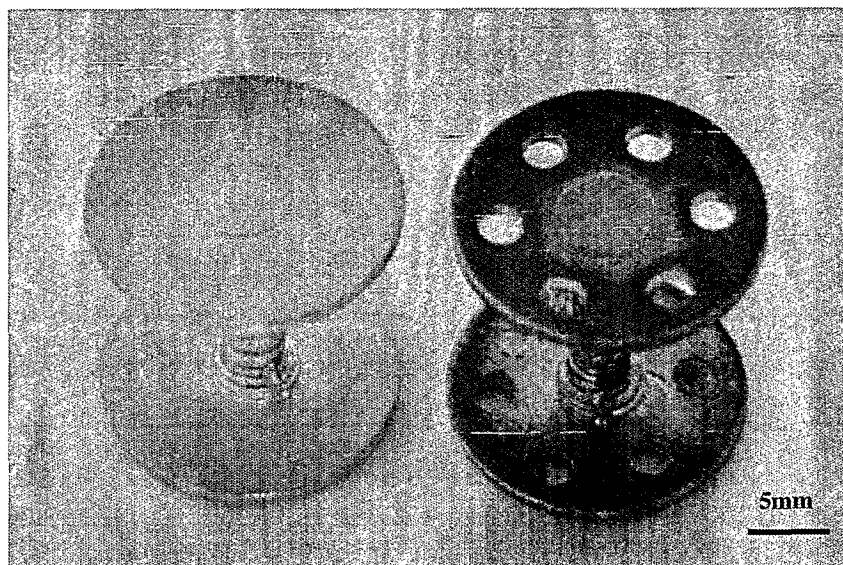
در آزمایش هایی که انجام شد دمای ذوب، جنس پوشش سطحی چپلت ها و شکل دو سطح بالا و پایینی چپلت به عنوان متغیر های تأثیر گذار مورد بررسی قرار گرفتند. در این آزمایش از سه نوع چپلت با پوشش های سطحی قلع اندود، مس اندود و دوبار قلع اندود استفاده شد.

دو شکل مختلف دو سطح بالایی و پایینی نیز مورد آزمایش قرار گرفتند، یکی با سطوح صاف (تخت) و دیگری با سطوح سوراخدار^a. چه، وقتی دو سطح بالا و پایین سوراخدار باشند چسب بهتر در آن نفوذ می کند و چپلت به قالب یا ماهیچه بهتر می چسبد.

آزمایش در دو دما انجام شد. دمای 1320°C که دمای روتین کاری است و عمده پره ها در این دما ریخته گری می شوند و دمای 1250°C که پایین ترین دمای است که ذوب ریزی ممکن است در مورد

^a Perforated

بعضی پره های خاص صورت بگیرد. بدین ترتیب می شد عملکرد چپلت ها را در سخت ترین شرایط آزمود.



شکل ۵-۱۷: تصویر سمت راست چپلت با دوسطح بالا و پایینی سوراخدار و با پوشش مس و چپلت سمت چپ با پوشش قلع و با سطوح بالا و پایین صاف می باشد.

در این آزمایش از ۶ نوع چپلت استفاده شد:

- ۱- چپلت قلع اندود با سطوح صاف
- ۲- چپلت قلع اندود با سطوح سوراخدار
- ۳- چپلت مس اندود با سطوح سوراخدار
- ۴- چپلت مس اندود با سطوح صاف
- ۵- چپلت دوبار قلع اندود با سطوح صاف

۶- چپلت دوبار قلع اندود با سطوح سوراخدار

بدین ترتیب ۴ قالب تست بلوک حاوی ۳۶ چپلت در ۶ نوع مختلف و ۳ عدد از هر نوع در سطوح مختلف قالب (سه سطح پایین، وسط و بالا، مطابق شکل ۴-۵) در دو دما (۲ قالب در دمای 1320°C و دو قالب دقیقاً با همان چیدمان دو قالب اول در دمای 1250°C) ریخته گری شدند. بعد از ریخته گری قالب ها قسمت های حاوی چپلت ها ابتدا با اره لنگ و سپس با مینی فرز برش خوردند و برای متالوگرافی آماده شدند.

۵-۴-۲- نتایج آزمایشات

نتیجه^۲ آزمایشات متالوگرافی مقاطع عرضی این چپلت ها نشان می داد که به دلیل استفاده از چسب چوب در چسباندن چپلت ها به قالب، چپلت های با سطوح سوراخدار عمدتاً به دلیل مشکلات گازی چندان عملکرد خوبی نداشته اند. جدول صفحه^۲ بعد به طور کامل نتیجه^۲ کلیه^۲ آزمایشات را نشان می دهد. بدین ترتیب کمترین تعداد آزمایشات برای آزمودن شش نوع چپلت مختلف در دو دما به کار گرفته شد.

از آنجاییکه قلع دارای نقطه ذوب پایین و نقطه تبخیر بالاست می تواند به شکل گیری یک ناحیه نفوذی در اطراف چپلت کمک کند. مس ولی دارای نقطه ذوب بالا و حدود 1085 درجه سانتیگراد می باشد، و در ذوبریزی در دمای پایین (1250 درجه سانتیگراد) حتی در بعضی قسمت های چپلت ذوب نیز نشده است.

جدول شماره ۵-۱: مقایسه نتایج آزمایشات متالوگرافی مقاطع چپلت های مختلف

شماره	جنس پوشش	شکل سطوح فوقانی و تحتانی	محل قرار گیری در قالب	دمای ذوب (°C)	نتیجه
۱	قلع اندود	سوراخدار	پایین	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۲	قلع اندود	سوراخدار	وسط	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۳	قلع اندود	سوراخدار	بالا	۱۳۲۰	عدم نفوذ کامل
۴	قلع اندود	مسطح	پایین	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۵	قلع اندود	مسطح	وسط	۱۳۲۰	نمونه از بین رفت
۶	قلع اندود	مسطح	بالا	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۷	مس اندود	سوراخدار	پایین	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۸	مس اندود	سوراخدار	وسط	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۹	مس اندود	سوراخدار	بالا	۱۳۲۰	عدم نفوذ کامل
قالب دوم					
۱۰	دوبار قلع اندود	سوراخدار	پایین	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۱۱	دوبار قلع اندود	سوراخدار	وسط	۱۳۲۰	عدم نفوذ کامل
۱۲	دوبار قلع اندود	سوراخدار	بالا	۱۳۲۰	عدم نفوذ کامل
۱۳	مس اندود	مسطح	پایین	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۱۴	مس اندود	مسطح	وسط	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۱۵	مس اندود	مسطح	بالا	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۱۶	دوبار قلع اندود	مسطح	پایین	۱۳۲۰	نفوذ کامل
۱۷	دوبار قلع اندود	مسطح	وسط	۱۳۲۰	نفوذ کامل

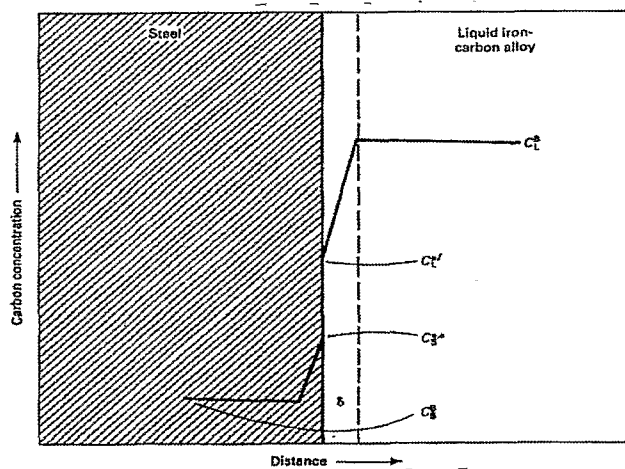
۱۸	دوبار قلع اندود	مسطح	بالا	۱۳۲۰	نفوذ کامل
قالب سوم (دمای پایین)					
۱۹	قلع اندود	سوراخدار	پایین	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۲۰	قلع اندود	سوراخدار	وسط	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۲۱	قلع اندود	سوراخدار	بالا	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۲۲	قلع اندود	مسطح	پایین	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۲۳	قلع اندود	مسطح	وسط	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۲۴	قلع اندود	مسطح	بالا	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۲۵	مس اندود	سوراخدار	پایین	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۲۶	مس اندود	سوراخدار	وسط	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۲۷	مس اندود	سوراخدار	بالا	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
قالب چهارم (دمای پایین)					
۲۸	دوبار قلع اندود	سوراخدار	پایین	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۲۹	دوبار قلع اندود	سوراخدار	وسط	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۳۰	دوبار قلع اندود	سوراخدار	بالا	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۳۱	مس اندود	مسطح	پایین	۱۲۵۰	نفوذ کامل
۳۲	مس اندود	مسطح	وسط	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۳۳	مس اندود	مسطح	بالا	۱۲۵۰	عدم نفوذ کامل
۳۴	دوبار قلع اندود	مسطح	پایین	۱۲۵۰	نفوذ کامل
۳۵	دوبار قلع اندود	مسطح	وسط	۱۲۵۰	نفوذ کامل
۳۶	دوبار قلع اندود	مسطح	بالا	۱۲۵۰	نفوذ کامل

۵-۴-۳- بررسی پدیده نفوذ کربن از چدن مذاب به ستون چپلت

بررسی ساختار میکروسکوپی مقاطع متالوگرافی نشان از افزایش میزان کربن در سطح ستون چپلت دارد. این اتفاق با دو مکانیسم میسر می‌باشد: ۱- پدیده ذوب جزئی [a] سطح چپلت ۲- نفوذ [b]

۵-۴-۳-۱- بررسی پدیده ذوب جزئی در سطح چپلت

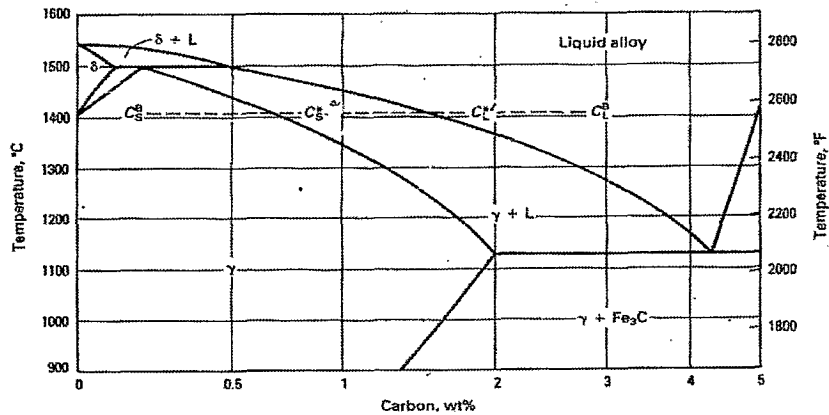
نفوذ کربن از محیط با پتانسیل بالای کربن (چدن) به محیطی با پتانسیل کمتر (در فولاد کم کربن) اصلی پذیرفته شده است. نفوذ کربن در فولاد، در دمای بالا، به کاهش نقطه ذوب فولاد منجر می‌شود و با افزایش غلظت کربن، فولاد وارد قسمت خمیری (دو فازی جامد-مذاب) می‌شود [۵]. شرایطی که در محیط مورد بررسی اتفاق می‌افتد در شکل ۵-۱۸ ترسیم شده است. در شکل پروفیل غلظت کربن در مذاب و در مجاورت ستون فولادی را نشان می‌دهد. همانطور که نشان داده شده است کربن از لایه مذاب مرزی به سطح ستون فولادی نفوذ می‌کند.



[a]- Partial melting

[b]- Diffusion

شکل ۵-۱۸: پروفیل غلظت کربن در مذاب و در مجاورت فولادی

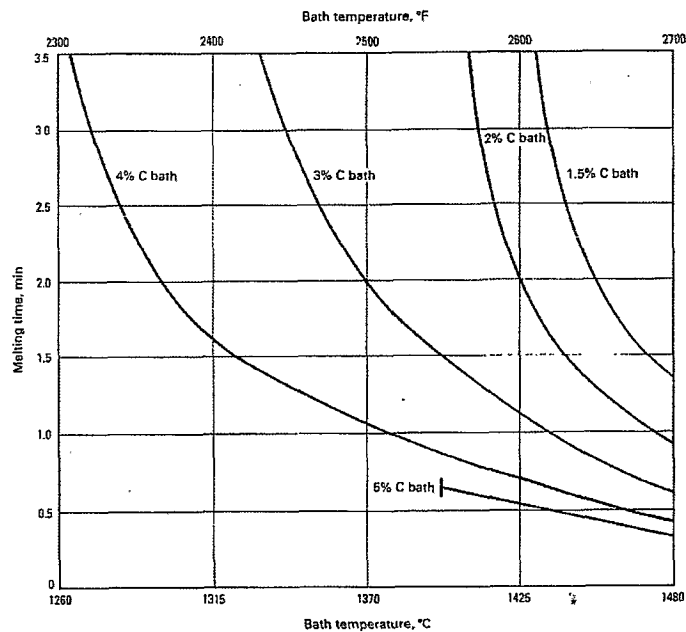


شکل ۵-۱۹: دیاگرام فاز آهن کربن مشخص کننده درصد کربن در شکل ۵-۱۸

در شرایط دمای ثابت سطح ستون فولادی با فرآیند ذوب شیمیایی، ذوب می‌گردد. با افزایش دما $C_L^{*\lambda}$ کاهش می‌یابد و در نتیجه نیروی محرکه نفوذ افزایش می‌یابد. رابطه زیر زمان ذوب شدن سطح فولادی را در دمای ثابت نشان می‌دهد.

$$t_m = \frac{(p_S^B C_L^{*\lambda} / p_L^{*\lambda/2}) - C_S^B}{k_m (C_L^B - C_L^{*\lambda})} r \quad (5-1)$$

منحنی زیر زمان ذوب شدن (t_m) را برای میله‌ای فولادی به ضخامت ۲.۵ mm و با غلظت ۰.۱ درصد کربن در مذاب چدن با درصد کربن‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲: منحنی زمان ذوب شدن (t_m) برای میله‌ای فولادی به ضخامت $2/5$ mm و با غلظت $0/1$ درصد کربن در مذاب
چدن با درصد کربن‌های مختلف

زمان انجماد قالب تست بلوک چدن خاکستری را می‌توان با استفاده از رابطه^f چورینوف^a نیز بدست آورد. بر اساس این رابطه که به صورت زیر بیان می‌شود، زمان انجماد فلزات مختلف را می‌توان پیش بینی کرد.

$$t_s = M \Phi R^2 \quad (5-2)$$

در این رابطه

t_s : زمان انجماد

M : ضریب تجربی که برای مواد مختلف تغییر می‌کند

Φ : ضریب شکل که برای صفحه ۱ می‌باشد و

^a Chvorinov's Rule

R: نسبت حجم به سطح مؤثر می باشد [۲۳].

M برای چدن خاکستری که در ماسه سرد می شود ۲/۰۴ در نظر گرفته می شود. از آنجاییکه ابعاد تست بلوک آزمایش چپلت ها ۳۰۰×۲۰۰×۱۰۰ میلیمتر می باشد، می توان زمان لازم برای انجماد را پیش بینی کرد.

$$\left. \begin{array}{l} M = 2.04 \\ \Phi = 1.00 \\ h = 30 \text{ cm} \\ \lambda = 30 \text{ cm} \\ t = 1 \text{ cm} \end{array} \right\} \Rightarrow t_s = 12.5 \text{ Sec}$$

$$\Rightarrow V = 900 \text{ Cm}^3 \quad A = 364 \text{ Cm}^2$$

با توجه به زمان بسیار کم تقریباً ۱۳ ثانیه ای تا دمای انجماد، می توان با توجه به منحنی ذوب

سطحی، قضاوت نمود که در مورد این آزمایش ذوب سطحی ستون های چپلت اتفاق نخواهد افتاد.

هنگامی که یک قطعه فولاد کم کربن در مجاورت محیطی با پتانسیل کربن دهی بالا همانند چدن خاکستری قرار می گیرد، در دماهای بالا مانند ۹۲۵^{°C} کربن اتمی از ماده کربن ده آزاد شده و به داخل سطح قطعه فولادی نفوذ می کند. گرچه این عملیات نیاز به زمان دارد ولی در مدت چند ساعت قطعه می تواند به میزان قابل ملاحظه ای کربن جذب کند. عمق نفوذ کربن بر حسب فاصله از سطح از رابطه زیر به دست می آید [۲۳].

$$\frac{C_C - C_S}{C_O - C_S} = \text{erf} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right] \quad (5-3)$$

که در این رابطه:

C_S : درصد کربن در فاصله x از سطح،

X: فاصله از سطح،

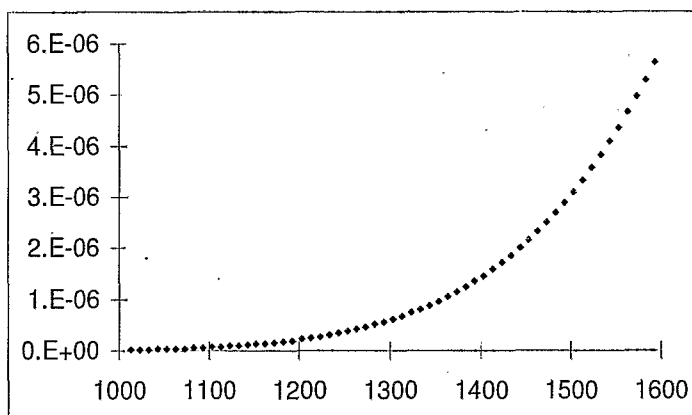
D: ضریب نفوذ کربن ($\frac{cm^2}{sec}$) و

t: زمان کربن دهی می باشند.

چپلهایی که در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند دارای ستونی از جنس فولاد ساده کربنی با ۰٫۱ درصد کربن می باشند و در حالیکه محیط چدن اطراف چپلت حاوی ۲٫۶ درصد کربن می باشد. در دمایی که چدن مذاب اطراف چپلت قرار می گیرد، 1320^{oc} پتانسیل لازم جهت نفوذ کربن به سطح چپلت فراهم می شود. در میزان نفوذ کربن به ستون چپلت اغتشاش مذاب، دمای مذاب و میزان کربن مذاب چدن تأثیرگذار می باشند. افزایش هر یک از این عوامل می تواند پدیده نفوذ را تشدید کند. با توجه به اینکه پهنای باند نفوذی کربن در ستون چپلتها با متالوگرافی و میکروسکوپ نوری اندازه گیری شده است (X معلوم) می تواند با کمک رابطه (5-1) ترکیب شیمیایی لایه نفوذی را به طور تقریبی تخمین زد. رابطه ۱ در شرایط دمای ثابت به کار برده می شود. حال آنکه در مورد آزمایش چپلتها، دمای تست بلوک ریخته شده مرتباً کاهش می یابد و از آنجائیکه ضریب نفوذ کربن (D) به شدت به دما وابسته است نمی توان به طور مستقیم از رابطه (5-1) استفاده کرد [۲۴].

$$D_C^3 = 0.12 \text{ Exp} \left[\frac{-13200}{RT} \right] \frac{cm^2}{Sec} \quad (5-4)$$

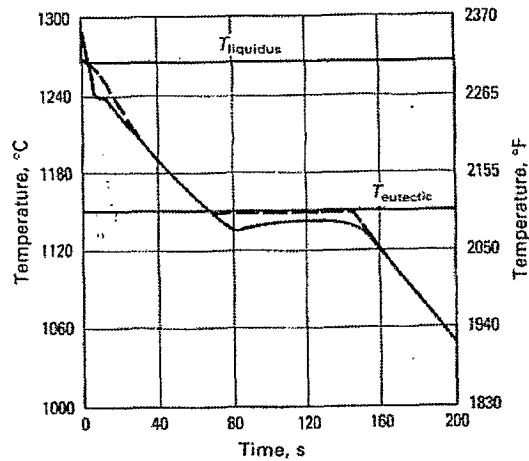
لذا با توجه به رابطه ضریب نفوذ (D) با دما و رسم منحنی D بر حسب دما می توان حداقل دمایی که در آن نفوذ کربن به ستون فولادی به طور مؤثر صورت می گیرد را محاسبه کرد. شکل ۵-۲۱ منحنی ضریب نفوذ کربن در فاز آستنیت بر حسب دما را نشان می دهد.



شکل ۵-۲۱: منحنی ضریب نفوذ کربن در فاز آستنیت بر حسب دما

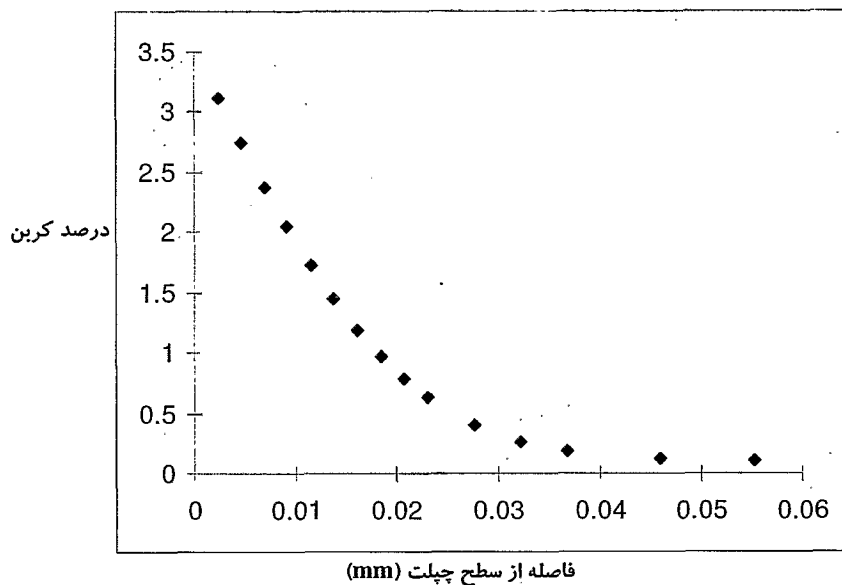
ضریب نفوذ کربن در آستنیت قابل ملاحظه می‌باشد اما در دماهای پایین‌تر از استحاله یوکتوئیدی عملاً نفوذ کربن متوقف می‌شود. در نتیجه می‌توان اینطور قضاوت کرد که نفوذ مؤثر کربن در محدوده دمایی 1320°C تا 740°C اتفاق می‌افتد. برای بدست آوردن یک منحنی از نحوه توزیع کربن و میزان نفوذ آن در ستون چپل با توجه به ثابت نبودن دما و در نتیجه آن ضریب نفوذ کربن در آستنیت، از روش محاسباتی استفاده گردید. در این روش منحنی ضریب نفوذ کربن بر حسب دما در محدوده دمایی 1593°K تا 1013°K رسم گردید. با استفاده از نرم افزار Excel، در فواصل دمایی 20°K و طول میانگین ضریب نفوذ در دو دمای متوالی مساحت زیر منحنی محاسبه شد. در این مورد مساحت منحنی 0.0007588 cm^2 بدست آمد. از مقایسه این عدد با جدولی که از حاصلضرب دما در ضریب نفوذ در همان دما بدست آمده بود معین شد که حاصلضرب دما در ضریب نفوذ در 1293°K برابر با 0.0007216 cm^2 می‌باشد که با تقریب قابل قبولی می‌توان آن را برابر با سطح زیر منحنی ۵-۲۱ دانست. بدین ترتیب می‌توان فرض نمود که نفوذ کربن در دمای ثابت 1293°K تقریباً معادل نفوذ کربن از دمای 1593°K تا 1013°K می‌باشد. به عبارت دیگر می‌توان در رابطه (5-1) به جای D

ضریب نفوذ در دمای 1293°K را جایگزین کرد. با توجه به نمودار سرد شدن تعادلی (شکل ۵-۲۲)،
چدن برای اینکه از دمای 1320°C به دمای 740°C برسد به حدود ۱۵۰ ثانیه زمان نیاز دارد.



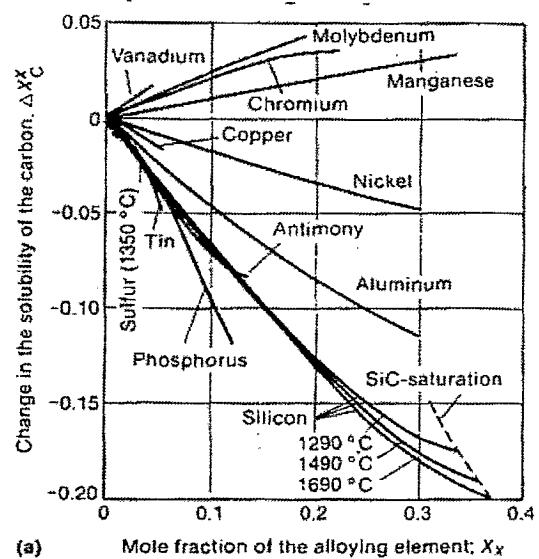
شکل ۵-۲۲: نمودار سرد شدن تعادلی چدن

لذا از رابطه نفوذ کربن (رابطه ۱-۵)، می توان معادله پروفیل غلظت کربن بر حسب فاصله از سطح
چپلت را به طور تقریبی تعیین کرد. شکل ۵-۲۳ گرادیان غلظت کربن در فواصل X از سطح چپلت را
نشان می دهد.



شکل ۵-۲۳: گرادیان غلظت کربن در فواصل X از سطح چپلت

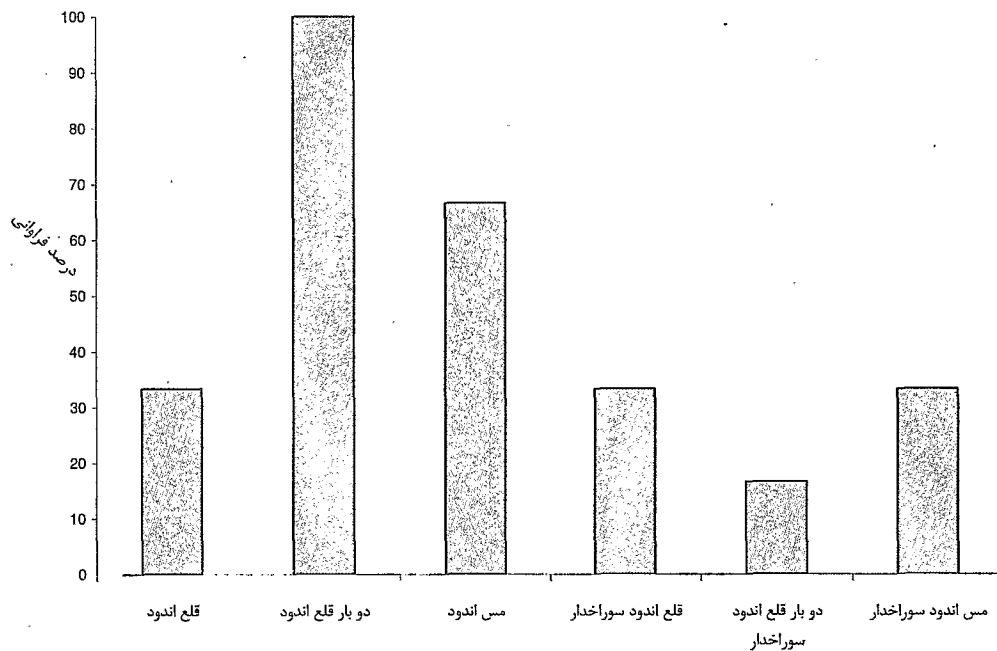
به این ترتیب با توجه به نمودار آهن-کربن می‌توان ساختارهای میکروسکوپی تشکیل شده در نواحی مختلف را تعیین نمود. ناحیه مجاور چدن در سطح چپلت به سمت داخل چپلت به پنج ناحیه فریتی-گرافیتی، پرلیتی-گرافیتی، پرلیتی-سمانتیتی، پرلیتی و فریتی-پرلیتی قابل تقسیم است. در فواصل دور از ستون چپلت ساختار چدن فریتی-گرافیتی است. اما در نواحی نزدیکی ستون چپلتهای قلع اندود ساختار پرلیتی-گرافیتی است. تشکیل ساختار پرلیت به دلیل حضور قلع در چدن مذاب می‌باشد. قلع حد حلالیت کربن در مذاب چدن را کاهش می‌دهد و پایدار کننده شدید پرلیت می‌باشد (شکل ۵-۲۴). بطوریکه در مواقعی که ساختار پرلیتی مد نظر باشد ذوب چدن مقدار قلع (تا ۰.۱۵ درصد) اضافه می‌کنند [۵].



(a) Mole fraction of the alloying element; X_X
 شکل ۵-۲۴. اثر عناصر آلیاژی بر حد حلالیت کربن در چدن

۴-۴-۵- تحلیل نتایج و بحث

برای آنالیز نتایج حاصل از متالوگرافی مقاطع چپلت های آزمایش شده از هیستو گرام زیر استفاده شد.



شکل ۵-۲۵: هیستو گرام نتایج آزمایش متالوگرافی چپلت ها

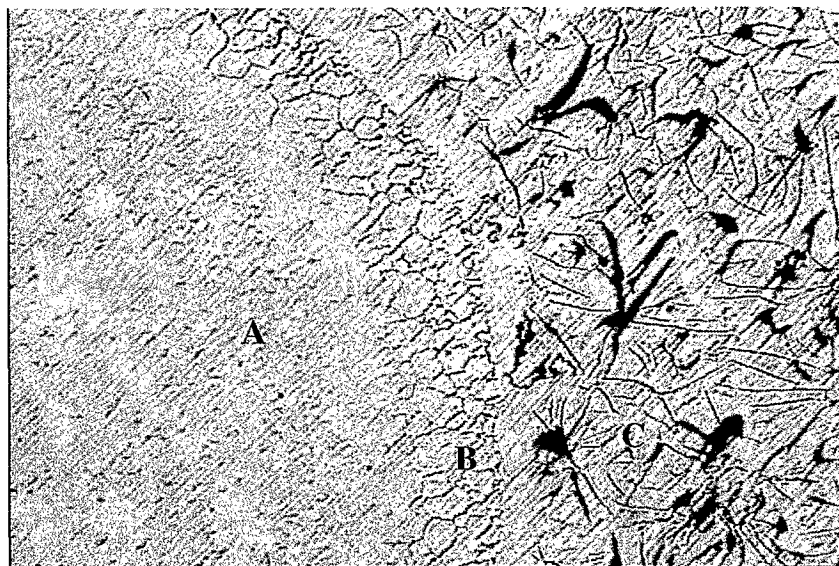
با ترسیم هیستو گرام مربوط به نتایج آزمایش ها میتوان نکات قابل توجهی را نتیجه گیری کرد:

۱- تنها چپلت های با پوشش دوبار قلع و با سطوح فوقانی و تحتانی مسطح بودند که همگی به طور کامل در چدن زمینه نفوذ کرده بودند.

۲- به طور کلی نتایج چپلت های با سطوح سوراخدار چندان رضایت بخش نمی باشد و این به دلیل روش نادرست در چسباندن چپلت ها به قالب می باشد. استفاده از چسب فراوان منجر به نفوذ چسب از درون سوراخها به داخل مذاب و ایجاد حفرات گازی در کناره چپلت ها می کند.

از آنجاییکه در دمای 1320°C هیچیک از چیلتهای سوراخدار با پوشش های مختلف (قلع ، مس و دوبار قلع) در زمینه ، همگی (هر سه چیلت از یک نوع) به طور کامل نفوذ نکردند، لذا این مسئله به طور کامل محرز گردید که این نوع چیلت ها نمی توانند راهگشای مشکل باشند. مشکل عمده این چیلت ها مکهای گازی ایجاد شده در اثر وارد شدن چسب به مذاب و ایجاد مکهای راه بدر می باشد.

در دمای 1320°C چیلت های قلع اندود، مس اندود و دوبار قلع اندود (هر سه با سطوح صاف) به خوبی در چدن زمینه نفوذ کرده بودند. تصاویر زیر مقاطع متالوگرافی شده چیلت ها در زمینه چدنی راپس از پولیش نشان می دهند.



شکل ۵-۲۶: تصویر متالوگرافی مقطع چیلت شماره ۴ (قلع اندود با سطوح صاف و دمای 1320°C).

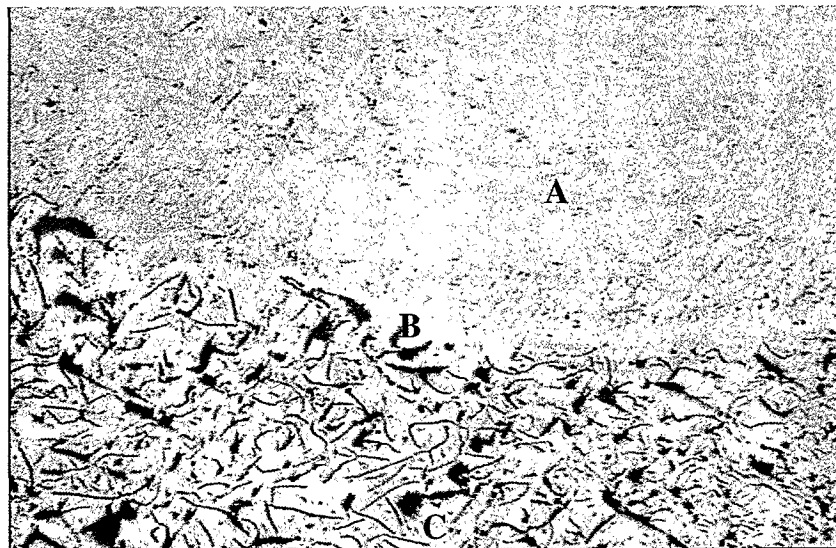
بزرگنمایی ۱۰۰ برابر

در شکل سه ناحیه قابل تشخیص است. ناحیه ^A ستون چپلت می باشد. ناحیه ^B ناحیه ^{دو فازی} است که نشان دهنده نفوذ کربن در سطح ستون چپلت می باشد. ناحیه ^C نیز چدن زمینه با گرافیت های ورقه ای می باشد.

اشکال ۲۷-۵ و ۲۸-۵ نیز از مقاطع پس از پولیش چپلت های مس اندود و دوبار قلع اندود (شماره های ۸ و ۱۷) تهیه شده است.



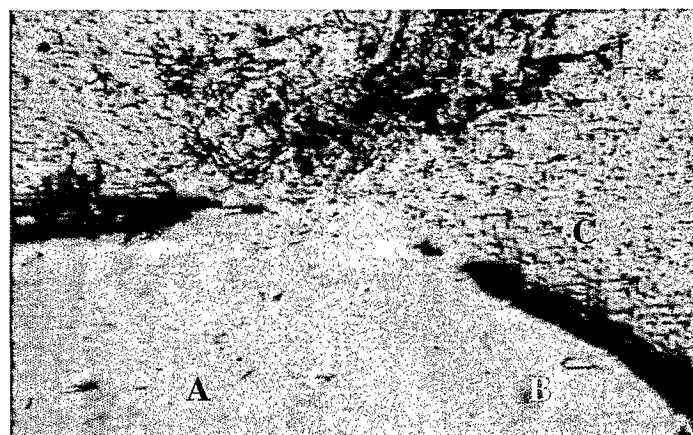
شکل ۲۷-۵: تصویر مقطع پس از پولیش نمونه شماره ۸ (مس اندود با سطوح صاف در دمای 1320°C)، بزرگنمایی ۲۰۰ برابر، سه ناحیه ^{A,B,C} نیز در این تصویر مشخص شده اند.



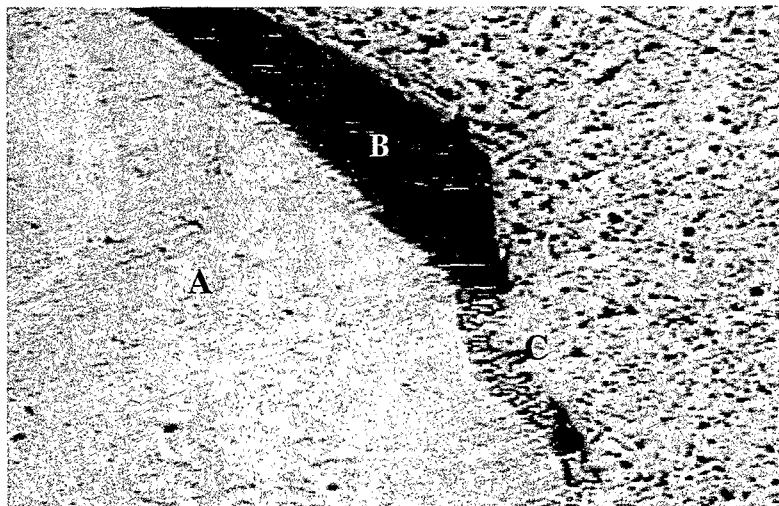
شکل ۵-۲۸: تصویر مقطع پس از پولیش نمونه شماره ۱۷ (دوبار قلع اندود با سطوح صاف در دمای 1320°C).

بزرگنمایی ۱۰۰ برابر

اما در دمای 1250°C هیچ یک از چپلت های قلع اندود نفوذ کامل در زمینه نداشت و تنها یک مورد از چپلت های مس اندود که در موقعیت پایین قرار گرفته بود، نفوذ کامل در زمینه داشت و این در صورتی بود که تمامی چپلت های دوبار قلع اندود در هر سه موقعیت پایین، وسط و بالا به خوبی در زمینه نفوذ کرده بودند.

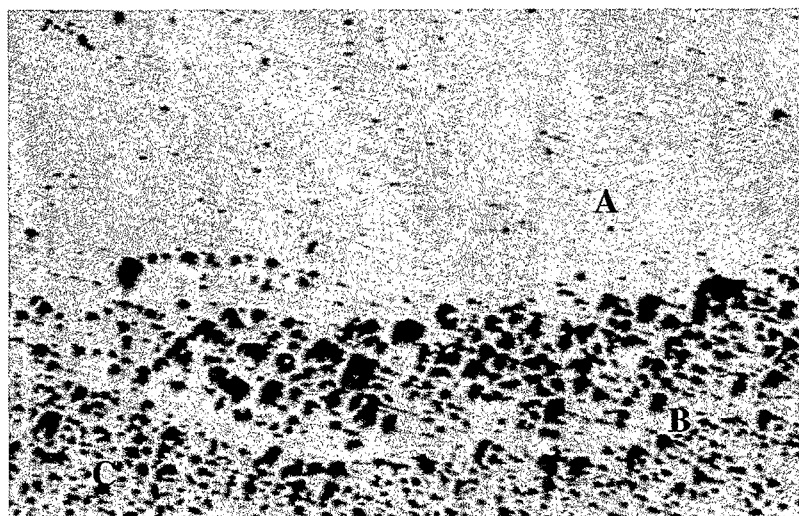


شکل ۵-۲۹: تصویر متالوگرافی مقطع چپلت شماره ۲۲ (قلع اندود در دمای 1250°C) پس از پولیش، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر



شکل ۳۰-۵: تصویر متالوگرافی مقطع چپلت شماره ۲۵ (مس اندود در دمای 1250°C) پس از پولیش، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر

تصاویر ۲۹-۵ و ۳۰-۵ به خوبی عدم نفوذ کامل ستون چپلت در مذاب چدن را نشان می دهند. در صورتیکه شکل ۳۱-۵ به خوبی نشان دهنده نفوذ کامل چپلت دوبار قلع اندود در دمای 1250°C می باشد.

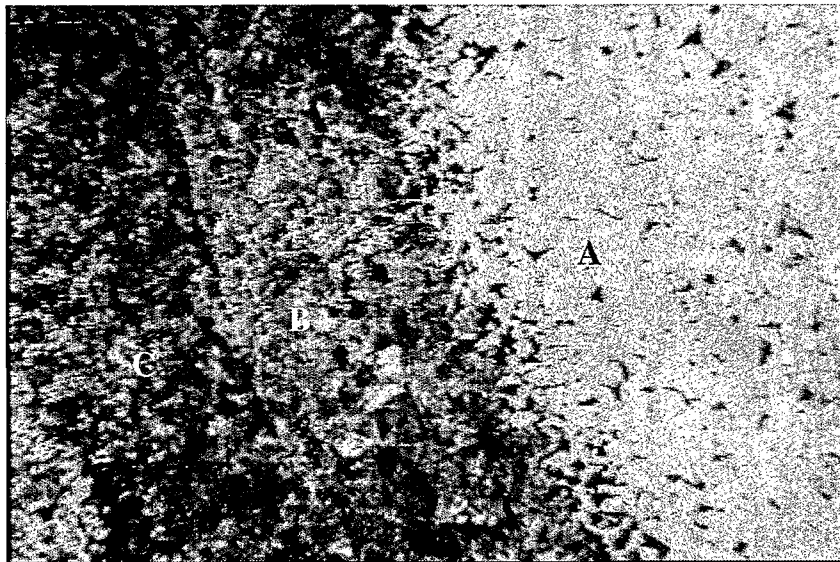


شکل ۳۱-۵: تصویر متالوگرافی مقطع چپلت شماره ۳۰ (دوبار قلع اندود در دمای 1250°C) پس از پولیش،

بزرگنمایی ۱۰۰ برابر

در شکل ۵-۳۱ ملاحظه می شود که هیچ گونه فاصله ای بین ستون چپلت و زمینه ایجاد نشده است و دو قلز به خوبی در هم نفوذ کرده اند. بدین ترتیب ادعای نفوذ بهتر چپلت های دوبار قلع اندود نسبت به دو چپلت دیگر ثابت گردید.

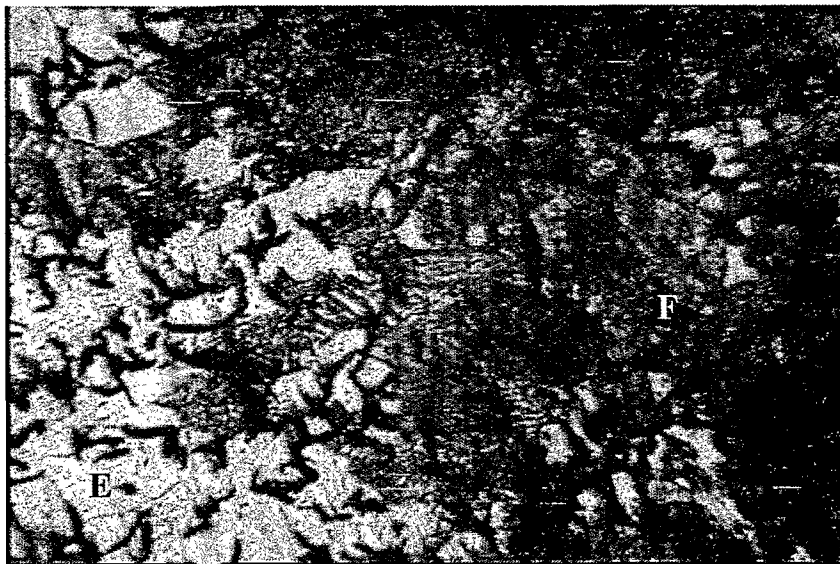
ستون چپلت ها از فولاد ساده^۶ کم کربن ساخته شده بود و در دماهای بالای 1200°C کربن از محیط پر کربن چدن با سمت ستون چپلت نفوذ می کند. تصویر زیر مقاطع متالوگرافی شده^۶ چپلت با پوشش سطحی دوبار قلع اندود را پس از اچ نشان می دهند. اچ با محلول نایتال ۲٪ انجام شد.



شکل ۵-۳۲: تصویر متالوگرافی مقطع چپلت شماره^۶ ۱۸ (دوبار قلع اندود در دمای 1220°C) پس از اچ، بزرگنمایی ۱۰۰ برابر

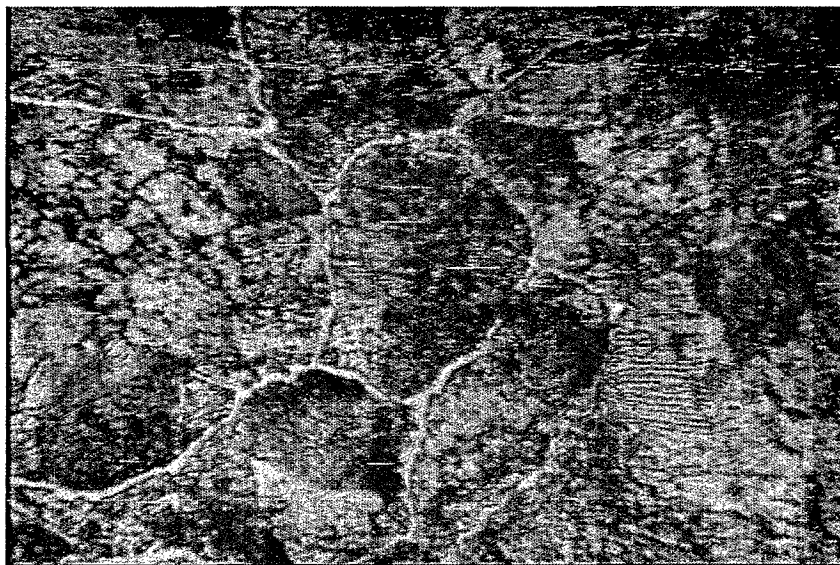
در این تصویر کاملاً سه ناحیه قابل تشخیص می باشد. ناحیه^۶ A که ستون چپلت است و دارای ساختار فریتی است، ناحیه^۶ ساختار پرلیتی با سمانتیت های پرو رسوب کرده در مرز دانه و همچنین

ساختار کاملاً پرلیتی دارد و ناحیه C^* که چدن خاکستری با گرافیت های ورقه ای می باشد. در این تصویر نفوذ در منطقه B^* کاملاً مشخص است. سلسله تصاویر زیر در حرکت از C به B تهیه شده اند. با بررسی تصاویر زیر که در بزرگنمایی های بالاتر گرفته شده اند می توان در مورد ساختار و اتفاقاتی که در حدود محدوده B^* افتاده است دقیقتر صحبت کرد.



شکل ۵-۳۳: تصویر متالوگرافی مقطع چپل شماره ۱۸ (دوبار قلع اندود در دمای $1320^{\circ}C$) پس از اچ، بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر

تصویر ۵-۳۳ مربوط به ناحیه ای می شود که ساختار چدن زمینه در اثر نرخ سرد شدن بالای مذاب در جوار چپل در ناحیه E^* گل رزی شکل شده است در حالیکه به دلیل حضور قلع در اطراف چپل که پایدار کننده فاز پرلیت است، در ناحیه F^* ساختار پرلیتی - گرافیتی مشاهده می شود. با نزدیک شدن به سمت چپل ساختاری پرلیتی با کاربید های باقیمانده (سمانتیت پرو) در مرز دانه ها مشاهده می شود.



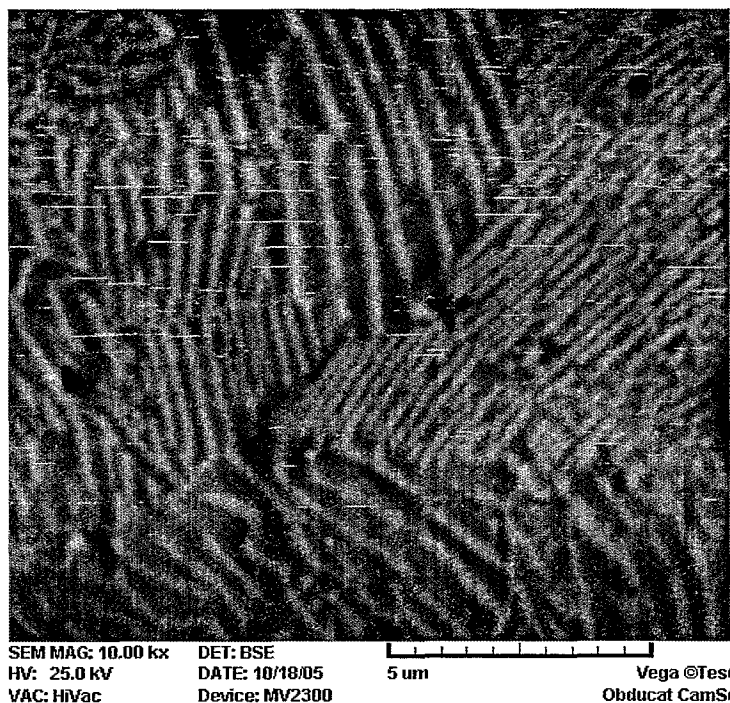
شکل ۵-۳۴: تصویر متالوگرافی مقطع چپلت شماره ۱۸ (دوبار قلع اندود در دمای 1320°C) پس از اچ، بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر

در شکل ۵-۳۴ ساختار فولاد هایپر یوکتوئید قابل مشاهده است. تصویر ۵-۳۵ توسط میکروسکپی الکترونی گرفته شده است و کاملاً ساختار پرلیتی با مرز دانه های سمانتیت را نشان می دهد.



شکل ۵-۳۵: تصویر SEM از ناحیه پرلیتی با مرز دانه سمانتیت

با نزدیک شدن به ستون چپت ساختار صد در صد پرلیتی مشاهده می شود. شکل ۵-۳۶ تصویر ساختار کاملاً پرلیتی در داخل ستون چپت را نشان می دهد که با میکروسکپی الکترونی گرفته شده است.



شکل ۵-۳۶: تصویر SEM از ناحیه ۱۰۰ درصد پرلیتی

تصویر ۵-۳۷ ناحیه نزدیک به ستون چپیت را نشان می دهد که ساختاری پرلیتی-فریتی دارد.

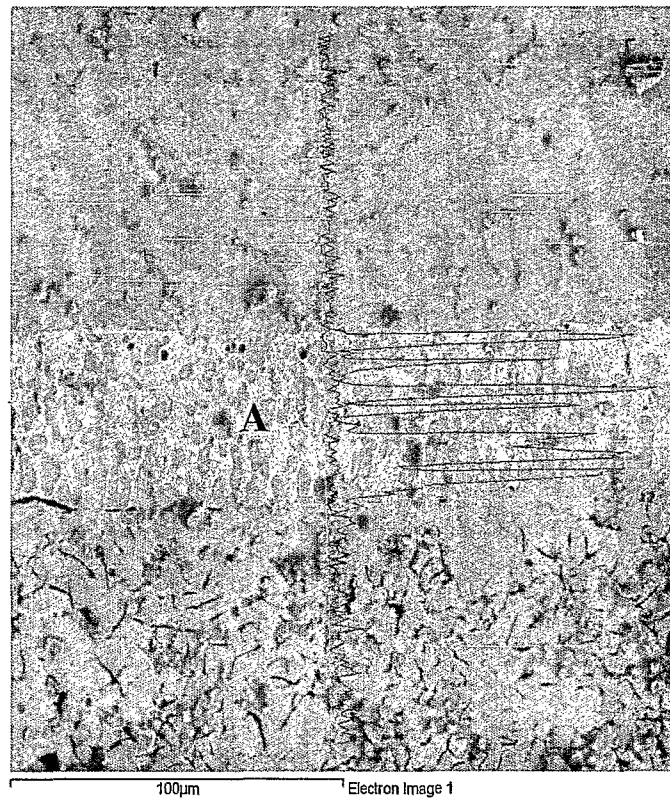


شکل ۵-۳۷: تصویر متالوگرافی مقطع چپیت شماره ۱۸ (دوبار قلع اندود در دمای 1320°C) پس از اچ، بزرگنمایی ۵۰۰ برابر

تصاویر متالوگرافی پس از اچ به خوبی نفوذ کربن از چدن زمینه به سمت ستون چپیت را نشان می دهند. پوشش سطحی چپیت ها عمدتاً به دلیل جلوگیری از زنگ زدگی و آلوده شدن سطح چپیت می

باشد. زیرا در صورتیکه سطح چپلت اکسیده یا آلوده باشد نفوذ به خوبی اتفاق نمی افتد و امکان راه بدر شدن محل اتصال چپلت با زمینه می رود. قلع به دلیل نقطه ذوب پایین و نقطه تبخیر بالا پوششی بسیار مناسب می باشد. پوشش قلع سطح چپلت سریعاً ذوب می شود و در نتیجه ناحیه نفوذی^a خوبی را ایجاد می کند.^{۲۱} پوشش مس نیز برای محافظت سطح ستون چپلت از آلودگی و اکسیداسیون به کار می رود. ولی به دلیل نقطه ذوب بالا به سادگی ذوب نمی شود و در نمونه هایی مشاهده شد که پوشش مس در اطراف چپلت باقی مانده است. باقی ماندن مس در اطراف چپلت به نوعی از نفوذ کربن به ستون چپلت ممانعت می کند. ولی به دلیل ناحیه های که در آن اختلاط ذوب چدن و مس صورت پذیرفته است امکان نشتی وجود ندارد تصویر ۵-۳۸ که توسط میکروسکپ الکترونی تهیه شده ناحیه رقت مس و چدن را نشان می دهد. این شکل با اسکن خطی عناصر مس، کربن و سیلیسیم همراه است. ناحیه A در واقع منطقه ای است که پوشش مس ذوب ناقص شده و با مذاب چدن آمیخته شده است.

^a Fusion Zone



شکل ۵-۳۸: تصویر اسکن خطی از چپلت با پوشش مس در دمای پایین

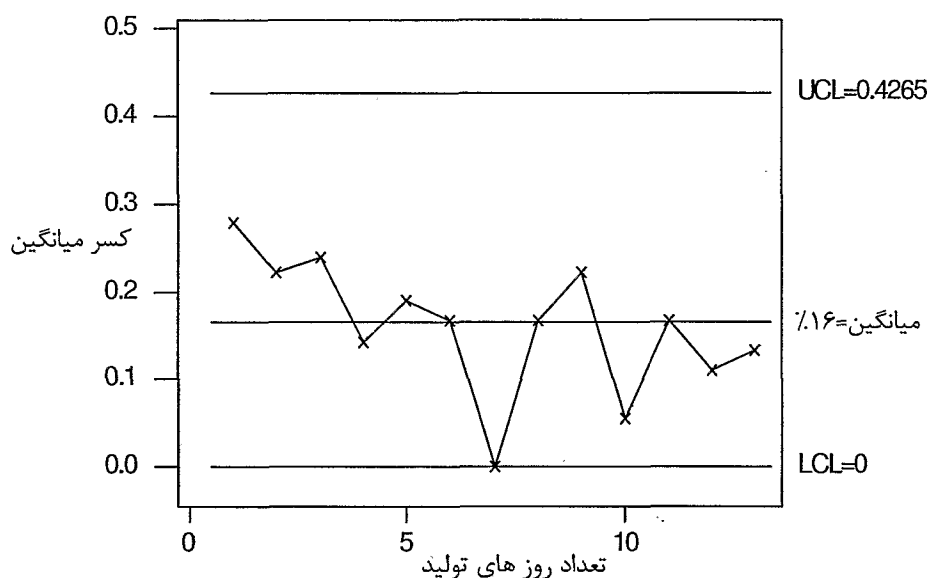
فصل ششم

نتیجه گیری (فاز کنترل)

Control

۶-۱- نتیجه گیری

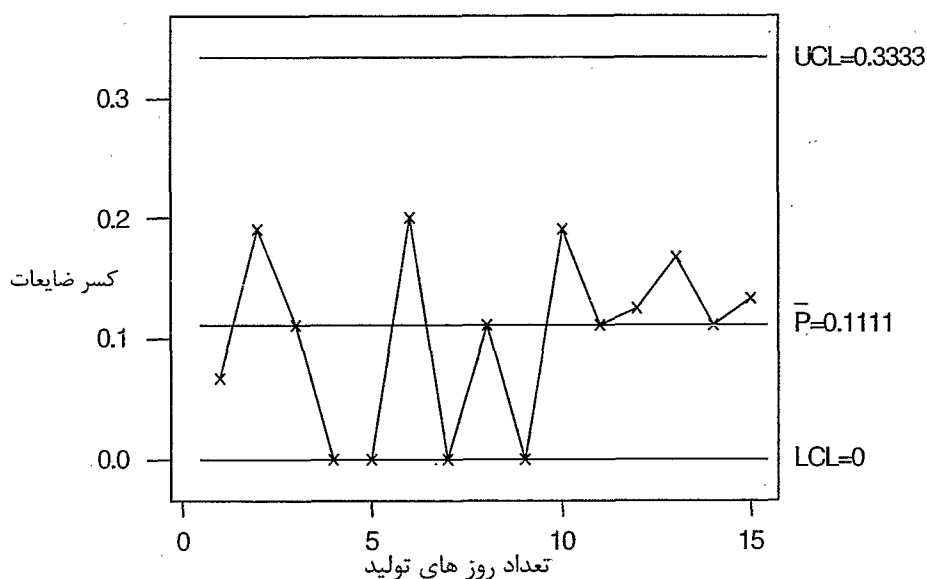
فاز انتهایی این پروژه کنترل نتایج اقدامات اصلاحی پیاده سازی شده بود. در این پروژه یک مدل، پره^۶ وسط TGG، به عنوان نمونه^۶ تحت کنترل، مورد بررسی قرار گرفت. در تولید این پره سعی شد تا تمامی اقدامات اصلاحی پیاده شود و مواد اولیه به شدت تحت کنترل قرار گیرند. نتایج کنترل ها در ماههای دی، بهمن و اسفند ۱۳۸۳ نشان از وفقت آمیز بودن پروژه داشت. میانگین ۲۵ درصدی ضایعات پره^۶ وسط TGG در طی سالهای قبل تولید (از سال ۱۳۷۸) در این سه ماه روندی نزولی داشت و بررسی نمودارهای P-Chart تحت کنترل بودن فرآیند تولید را در این ۳ ماه نشان می داد.



شکل ۶-۱: نمودار P-Chart مربوط به تولید روزانه^۶ پره^۶ وسط TGG در ماه دی

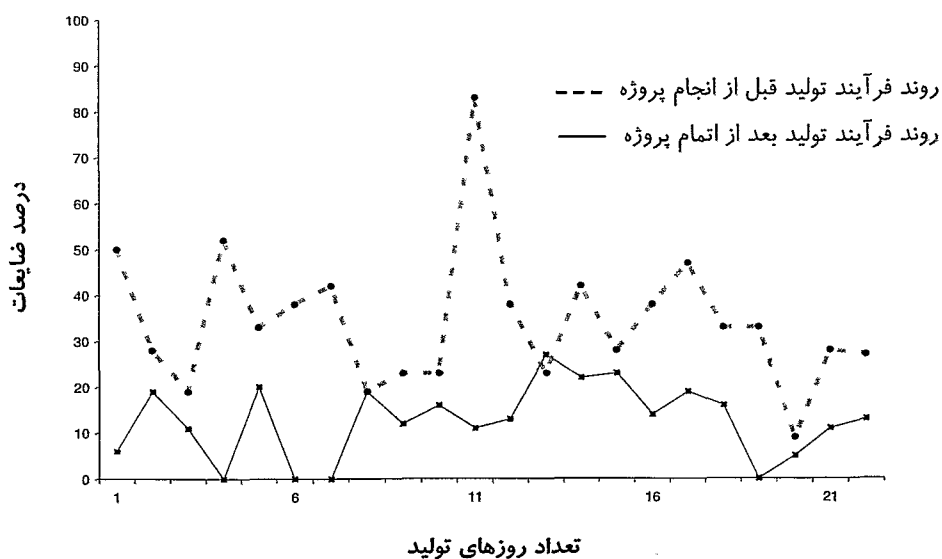
در این نمودار مشخص است که تولید کاملاً در محدوده^۶ بین حدود کنترلی بالا و پایین قرار دارد و روندی نزولی دارد.

نمودار صفحه^۶ بعد روند تولید در ماه های بهمن و اسفند را نشان می دهد.



شکل ۲-۶: نمودار P-Chart مربوط به تولید روزانه پره وسط TGG

توجه به نمودار P تولید پره وسط TGG و مقایسه آن با نمودار شکل ۳-۶ که عملکرد سیستم در دو حالت قبل و بعد از انجام پروژه را نشان می دهد، مشخص می سازد که تولید در کل این ۳ ماه تحت کنترل بوده است و میانگین ضایعات زیر ۱۴ درصد، که هدف این پروژه بوده، به خوبی برآورده شده است.



شکل ۳-۶: نمودار مقایسه ای عملکرد فرآیند در دو حالت قبل و بعد از انجام پروژه

1- Patrick Waddick, "Six Sigma DMAIC Quick Reference"
http://www.isixsigma.com/library/content/six_sigma_dmaic_quickref_overview.asp, 2005

۲- "شش سیگما"، مهندس جافریان، پیام صنعت ریخته گری ایران، شماره ۲۵، تیر ۱۳۸۲

3 - J. Archibald, J. Madigan, "Precision sand casting cost reduction using six sigma methodology", AFS Transactions 2004.

4- D.V. Atterton, J. V. Stevenson, "Carbon dioxide process: Review", AFS Transactions, 1981, No. 33

5- "Casting" ASM Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 15

6- K. E. L. NICHOLAS, "The CO₂-Silicate Process in Foundry", British Cast Iron Research Association (BCIRA)

7- JR. Davis, "Cast Iron", ASM Specially Handbook, 1996

8- Dale H.Besterfield, "Quality Control", 5th ed., 1998

9- Joy Barrier, Martin Koppen, IKO-Erbsloh, "Manual of Casting Defects", First Edition, 1994

۱۰- پرویز دوامی و جلال حجازی، "اطلس عیوب قطعات ریخته گری"، انتشارات جامعه ریخته گران ایران، دی ۱۳۶۵

11- Frank M.White, "Fluid Mechanics", 3th ed., Mc Grow Hill, 1994

12- Stephen I. Karsay, "Ductile Iron, Gating and Riser", QIT Fer et Titane Inc., 1981

۱۳- ناصر توحیدی، "تئوری تولید آهن اسفنجی - جلد اول"، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۱۳۸۱

14- "Using mould and core coatings", BRICA Broad Sheet, No.105-1, 1981

15- "Guide to maintaining quality control in iron foundries- core quality", BRICA Broad Sheet, No.110-4, 1975

16- R. K. Buhr, R. D. Warda, L. V. Whiting, K. G. Davis, M. Sahoo, "The state of foundry technology as measured by a mobile laboratory" AFS Transaction, 1988, No. 119, P. 171

۱۷- محمد حسین فتحی، "مواد قالبگیری برای ریخته گری فلزات"، انتشارات سپاهان، چاپ دوم، پاییز ۱۳۷۴

18- QIT – Fer et Titane Inc. "Ductile Iron: The essentials of Gating and Riser System Design" Seminar Lecture Notes. Montreal, Quebec, 1987

19- "Prevention of sand inclusion from moulds and coes" BRICA Broad Sheet, No.196, 1981

20- S.Guleyupoglu, "Casting Process Design Guidelines", AFS Transaction, 1997, No. 83

21- "Guide to running-system design – basic systems and components", BRICA Broad Sheet, No.139-1, 1976

22- "Chaplets", " BRICA Broad Sheet, No.179-1, 1980

23- P.C.Mukherjee, " Fundamentals of metal casting technology", Oxford and IBH Publishing Co., 1979

24- R. G. Olsson, V. Roump, and T. F. Perzak, "Rate of Dissolution of Carbon Steel in Molten Iron Carbon Allays", Tans Met. Soc. ALME, Vol. 233, 1965, p 1654-1657

۲۵- دی. ای. پورتر، کی. ای. ایسترلینگ، "استحاله فازها در فلزات و آلیاژها"، ترجمه محمدرضا افضلی، مرکز نشر

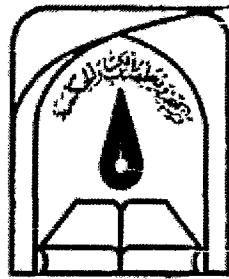
دانشگاهی، تهران، چاپ اول ۱۳۵۹

واژه نامه

Process Flow Chart	نمودار گردش
Green Strength	استحکام خام
Permeability	قابلیت عبوردهی
Thermal Stresses	تنش های حرارتی
Lack of Fusion	عدم ذوب کامل
Cold Lap	سرد جوشی
Core Print	تکیه گاه
Cause And Effect Diagrams	نمودار های استخوان ماهی یا علت - معلول
Interrupted Pour	دوپوستگی
Blowholes adjacent to chaplet	سوسه در نزدیکی چپلت
Core Box	جعبه ماهیچه ها
Core Compaction	فشردگی ماهیچه ها
Sand Inclusion	ناخالصی ماسه
Choke	سطح مقطع تنگه
Low of Continuity	قانون پیوستگی
Spacer	فاصله دهنده
Hot Dip	غوطه وری گرم
Premature Fusion	ذوب زود هنگام
Blowholes	حفره
Undesirable Graphite	گرافیت نا خواسته
Partial melting	ذوب جزئی
Chvorinov's Rule	رابطه چورینوف
Fusion Zone	ناحیه نفوذی

Abstract:

One of the most substantial challenges of foundries is the high rate of casting scraps. High rates of casting scrap impose extra costs of production, which declines the productivity of the foundry. The main purpose of this research is the implementation of one of the advanced and successful problem solving methods in reducing the casting scrap of heating boilers in a foundry. This method, which is called DMAIC, is based on five significant steps. DMAIC is an improvement framework, or define-measure-analyze-improve-control, which is analogous to the older TQM model known as plan-do-study-act. According to this framework, the first step was defining the status of the process; the second was measuring the system, the third was analyzing the measured parameters, the fourth was implementing the improvement actions and the last step was controlling and monitoring the performance of the system after all the improvements. After implementing all the improvement actions, the system was monitored by advanced statistical Process control techniques (SPC). The results satisfied the goals of the project perfectly. The scrap rate of the mentioned product decreases less than the 50 percent of its former amount.



Tarbiat Modarres University (T.M.U)
The Faculty of Engineering

M.Sc.Thesis

Title:

casting scrap reduction of cast iron heating boilers

by:

Araz Salek

Supervisor:

Dr.Farshid Malek Ghaeini

Advisor:

Dr.Hamidreza Shahverdi

October 2005

۱۴۴۱