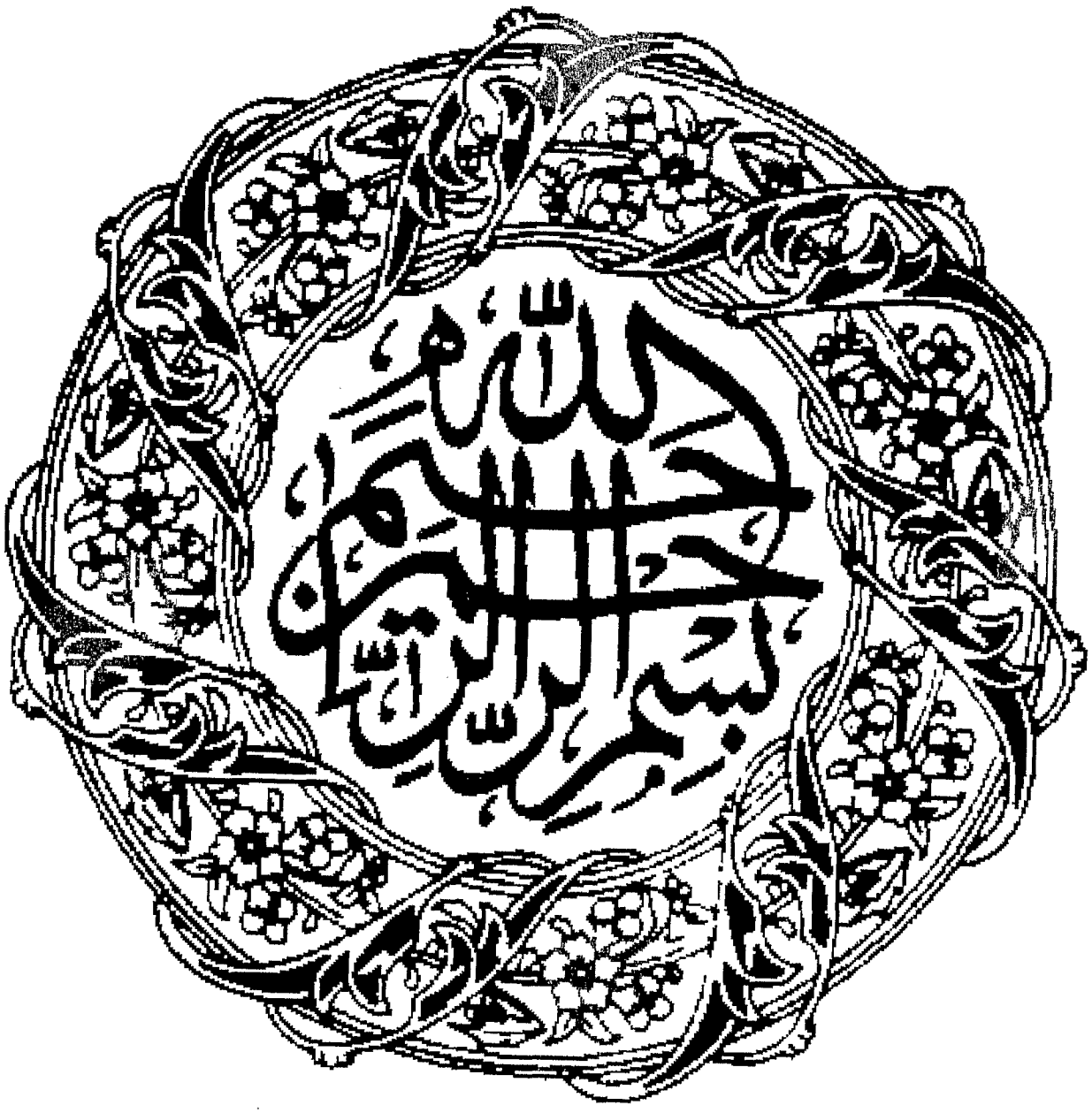

٤٧٢٠٦

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی

۱۳۸۲ /۶۲ /۱۰

موضوع :

شبیه سازی فرآیند تزریق پلاستیک قطعات خودرو به کمک کامپیوتر(با راهگاههای سرد و گرم)

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما :
آقای دکتر علی رضا درویش

استاد مشاور :
آقای دکتر محسن شاکری

نگارش :
حسین چراغعلی

اردیبهشت ۱۳۸۲

۴۷۳۰۶

باسمه تعالی

دانشگاه مازندران

معاونت آموزشی

تحصیلات تکمیلی

ارزشیابی پایان نامه در جلسه دفاعیه

دانشکده فنی ومهندسی

نام و نام خانوادگی دانشجو : **حسین چراغعلی** شماره دانشجوئی : ۷۹۵۱۳۶۸۰۰۳

رشته تحصیلی : **مهندسی مکانیک – ساخت و تولید** مقطع: **کارشناسی ارشد**

سال تحصیلی: **نیمسال دوم ۸۲-۱۳۸۱**

عنوان پایان نامه :

" شبیه سازی فرآیند تزریق پلاستیک قطعات خودرو به کمک کامپیوتر(با راهگاههای سرد و گرم) "

تاریخ دفاع : ۱۳۸۲/۲/۶

نمره پایان نامه (به عدد) : ۱۷

نمره پایان نامه (به حروف): هفده

هیات داوران :

استاد راهنما : دکتر علیرضا درویشی امضا

استاد مشاور : دکتر محسن شاکری امضا

استاد مدعو : دکتر مجید طلوعی راد امضا

استاد مدعو : دکتر محمد بخشی امضا

نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی : دکتر علی اکبر رنجبر کنی امضا

گروه آموزشی مکانیک

مقدمه

تصور جهان پیشرفتهٔ کنونی بدون وجود پلاستیکها مشکل است. امروز آنها جزیی از زندگی ما شده اند و در ساخت اشیای مختلف ، از وسایل خانگی و مورد مصرف عمومی تا ابزار دقیق و پیچیدهٔ پزشکی و علمی ، صنایع اتومبیل و صنایع هوائی به کار می روند. مهندسان و طراحان ، پلاستیک را به دلیل وجود ترکیبی از خواص متنوع ، در مقایسه با سایر مواد مورد توجه قرار می دهند. این خواص عبارتند از : سبکی ، سختی ، انعطاف پذیری ، مقاومت در مقابل خوردگی ، رنگ پذیری ، شفافیت ، سهولت شکل پذیری و غیره ، البته محدودیتهایی نیز در کاربرد پلاستیکها وجود دارد که یک طراح خوب و ماهر می تواند آنها را به حداقل برساند.

استفاده از پلاستیکها در خودرو باعث کاهش وزن و در نتیجه افزایش سرعت و کاهش مصرف سوخت خودرو می گردد. ساخت بسیاری از مدل های جدید خودرو بدون استفاده از پلاستیک غیر ممکن است. با کمک آنها می توان خودروهای آیرودینامیک تر با قدرت و سرعت بیشتر ساخت.

در طی چند سال اخیر شبیه سازی فرآیند تزریق پلاستیک ، به عنوان روش قابل قبولی برای بهینه کردن طراحی قطعه و قالب و کاهش مشکلات ساخت مورد استفاده قرار گرفته است. شبیه سازی فرآیند قطعات پلاستیک این امکان را به مهندس می دهد تا در هنگام تزریق و خنک شدن قطعه شرایط پدید آمده در حفره را مشاهده کند ، در این صورت فرآیند ساخت قطعه مشخص شده و مشکلات کاری کاهش می یابد. امروزه نرم افزار های شبیه سازی فرآیند ابزار مفیدی برای کمک به فرآیند طراحی می باشند. نرم افزار C - Mold 3D – QuickFill از جمله نرم افزارهایی است که تحولی اساسی در شاخهٔ مهندسی پلاستیک بوجود آورده است. بطوریکه ، منبع خوبی برای مهندسین و طراحان قالب می باشد.

اهداف این پژوهش عبارتند از :

تدوین یک روش علمی وعملی برای تعیین پارامترهای اساسی در طراحی محصول ، قابلیت تولیدی بودن قطعات طراحی شده بر اساس عملکرد آنها و همچنین تدوین اصول اساسی که در تضمین کیفیت و کنترل کیفیت باید مد نظر قرار گیرد.

با توجه به نکات فوق ، پروژهٔ حاضر مطالب زیر را دنبال می کند :

۱- آشنایی با ماشینهای تزریق و صنعت پلاستیک ، مواد و فرآیند ساخت

۲- آشنایی با طراحی قالبهای پلاستیک

۳- چگونگی پر شدن یک قالب و طراحی رئولوژیکی

٤- بررسی فاکتورهای طراحی به کمک کامپیوتر و شبیه سازی تزریق پلاستیک

٥- تجزیه و تحلیل علمی و عملی طراحی و شبیه سازی قطعات پلاستیکی خودرو به کمک نرم افزار C - Mold 3D – QuickFill

روش کار در این پروژه به این صورت بوده است که ، پس از تحقیق از تعمیر کاران و تولید کنندگان قطعات ، اشکلات اساسی قطعات تولیدی که بیشتر متکی به تجربه بوده است ، بررسی شده و سپس این قطعات شبیه سازی ، و پس از پیدا کردن دلایل اصلی معایب قطعات ، راه حل هایی علمی وعملی جهت اصلاح آنها ارائه شده است. که شاید بتوان گفت نکتهٔ بسیار مثبت پروژه این است که تجربه را با علم نوین در کنار هم قرار داده و مشاهده شد که ایندو ، دو عامل تفکیک ناپذیرند. در قطعات حساس عدم وجود یکی باعث نقص در قطعات خواهد شد.

روش کار در این پروژه به این صورت بوده که از تعمیر گاههای مجاز، فروشندگان لوازم یدکی و تولید کنندگان قطعات مورد نظر، تحقیق به عمل آمده و نظر آنها را در مورد کیفیت ، استحکام ، دلایل خرابی و تعویض و... مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از اشکالات اساسی قطعات تولیدی داخل این است که قالبسازان بیشتر متکی به تجربه هستند و بنابراین تمام پارامترها را بطور کامل در یک قالب در نظر نمی گیرند. در این پژوهش از طراحی و شبیه سازی به کمک کامپیوتر استفاده شده تا عیوب اصلی و دلایل این عیوب مشخص شده و در نهایت راه حلهای علمی و عملی جهت برطرف کردن آنها ارائه شود و پس از اصلاح قالب ، قطعه بدون عیب تولید شود. از امتیازات اصلی این پروژه ، دو قطعه از آنها را پس از رفع اشکالات در شرکت پیشرو تست کرده و جواب مثبت گرفته شده است.

تقدیرو تشکر

در اینجا لازم می دانم از کسانی که در انجام این پژوهش این حقیر را یاری رسانده اند تشکر و قدردانی نمایم.

از جناب آقای دکتر علی رضا درویش ، استاد راهنما و جناب آقای دکتر محسن شاکری ، استاد مشاور که در طی مراحل مختلف این تحقیق ، اینجانب را با صبر و حوصله راهنمایی فرموده اند سپاسگذاری می نمایم.

همچنین لازم می دانم از مدیریت محترم شرکت پیشرو بابلسر، که در به ثمر رسیدن این پروژه ، با اینجانب همکاری خوبی داشته اند تشکر نمایم.

امید است که این تحقیق هر چند ناچیز و اندک ، کاری در راه بهینه سازی صنعت کشور مان باشد.

هدیه به

روح مطهر شما

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

چکیده

تزریق قطعات پلاستیک در کشور بیشتر به صورت سنتی و متکی به تجربهٔ استادکاران بوده است با توجه به نقش رو به گسترش پلاستیک در ساخت اکثر قطعات صنعتی ، وسایل پزشکی و خودرو لازم است ، که این امر به صورت علمی ـ کاربردی مورد بررسی قرار گیرد و راهکارهای اساسی به منظور طراحی وتولید قطعات با کیفیت قابل قبول طبق استانداردهای جهانی تدوین گردد. بنابراین ، جهت دستیابی به این مهم ، استفاده از تکنولوژی های CAD\CAM\ CAE امری ضروری خواهد بود. به کار بردن آنها باعث بهینه سازی ، کاهش هزینه ها و سرعت در تولید را بدنبال خواهد داشت .

در این تحقیق ، ابتدا ماشینهای تزریق ، تکنولوژی پلاستیک و قالبهای تزریق پلاستیک مورد بررسی قرار گرفته است. سپس فرآیند و پارامترهای مهم شبیه سازی تزریق پلاستیک تشریح گردیده است. در نهایت چند نمونه از قطعات پلاستیکی خودرو را انتخاب کرده و پس از نظر خواهی از تعمیرکاران ، تولید کنندگان و فروشندگان ، اشکالات آنها را یافته وپس از مدلینگ با نرم افزار Solid Work 2000 (CAD) ، فایل مدل شده (STL.) آنها را تهیه و سپس از نرم افزار C-MOLD 3D QuickFill (CAE) جهت شبیه سازی تزریق پلاستیک آنها ، استفاده شده است. قطعات از نظر نقطهٔ تزریق ، دمای قالب ، دمای مذاب ، سرعت تزریق ، فشار تزریق ، پیشرفت جبههٔ مذاب در داخل قطعه ، زمان سرد شدن قطعه ، دمای داخل قطعه در نقاط مختلف ، خطوط جوش در قطعه ، چگونگی استفاده از راهگاه سرد و گرم ، انقباض ، تابیدگی ، فرورفتگی ، تله های هوایی را مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند.

این بررسی ها در نهایت منجر به تدوین یک روش علمی و عملی در تعیین پارامترهای اساسی در طرحی محصول و همچنین طراحی و ساخت قالب خواهد شد. باید در آخر خاطر نشان کرد که ، بهترین راه حل جهت تولید اقتصادی ، قطعات با کیفیت و این که بتوان در بازارهای جهانی وارد شد ، باید علم و عمل را با هم هماهنگ ساخت. روش قالبسازی به صورت سنتی ، بدون شبیه سازی فرآیند ، مخصوصاً در قطعات اساسی صنعتی کاربردی نخواهد داشت. چرا که ، پس از ساخت قالب رفع عیب یا غیرممکن است و یااینکه بسیارگران خواهد بود.

فهرست

فصل اول: ماشین های تزریق وپلاستیک ها

۱-۱- تاریخچهٔ پیدایش پلاستیک ۲
۱-۲ پلاستیک‌ها در صنعت خودرو ۳
۱-۲-۱ کاربرد پلاستیک در داخل خودرو ۳
۱-۲-۲-کاربرد پلاستیک در قسمت‌های خارجی خودرو ٦
۱-۳-پیدایش ماشینهای تزریق ۹
۱-٤-انواع پلاستیک ۱۰
۱-٤-۱- گروه ترموپلاستیک ۱۰
۱-٤-۲- گروه ترموست ۱۰
۱-٥ - قسمت های مختلف ماشین های تزریق ۲۳
۱-٥-۱- قسمت تزریق یا اکسترودر ۲٤
۱-٥-۲ مارپیچ اکسترودر ۲٦
۱-٥-۳ انواع سرمارپیچ ۲۷
۱-٥-٤ نیروی محرک مارپیچ ۲۸
۱-٥-٥ سیلندر تزریق ۲۹
۱-٥-٦-سوپاپ سیلندر تزریق ۲۹
۱-٥-۷-قیف مواد ۳۰
۱-٥-۸-گرمکن سیلندر تزریق ۳۱
۱-٥-۹-حرارت سنج ۳۱
۱-٦- قسمت قالب گیر ماشین تزریق ۳۳
۱-٦-۱ – سیستم مکانیکی ۳٥
۱-٦-۲- سیستم هیدرولیکی ۳۷
۱-٦-۳ پران ۳۸

فصل دوم : قالب های پلاستیک

طراحی قالبهای تزریق پلاستیک ٤۱
۲-۱- نکات قابل ملاحظه در زمینهٔ مواد ٤۱
۲-۱-۱ شرایط محیطی ٤۲
۲-۱-۲- خصوصیات الکتریکی ٤۲
۲-۱-۳- خصوصیات شیمیایی ٤۳
۲-۱-٤- فاکتورهای مکانیکی ٤۳
۲-۱-٥- نکات اقتصادی ٤٤
۲-۲- نکات قابل ملاحظه در طراحی ٤٥
۲-۳- فرآیند ساخت ٤۸
۲-۳-۱- تولرانس ها ٥۰
۲-٤- طراحی قالب ٥۱
۲-٤-۱- اصول طراحی راهگاه ٥٤

۲-٤-۲-چیدمان راهگاه و حفره های قالب ۵۵
۲-٤-۳- محاسبهٔ قطر راهگاه ۵۹
۲-٤-٤- طراحی گلویی تزریق ٦۱
۲-٤-۵- انواع گلویی های تزریق ٦۳
۲-٤-٦- قوانین طراحی گلویی تزریق ٦۵
۲-٤-۷- فرآیند خنک کاری ٦۷
۲-٤-۸-ملاحظات طراحی یک سیستم خنک کاری ۷۱
۲-٤-۹-تعیین نوع جریان خنک کننده در کانال های خنک کاری ۷٤
۲-٤-۱۰-زمان خنک کاری ۷۵

فصل : سوم چگونگی پرشدن یک قالب و طراحی رئولوژیکی

مقدمه ۷۹
۳-۱- تصویر پر شدن و اهمیت آن ۷۹
۳-۲- اساس تئوری برای ساخت تصویر پر شدن ۸۳
۳-۳- رسم جریان پیشرو ۸٤
۳-٤- سطوح با ضخامت متغیر ۸۵
۳-۵- تصویرهای پر شدن پره ها ۸٦
۳-٦- تصویر پر شدن قطعات قالبگیری جعبه ای شکل ۷۸
۳-۷-اساس تئوری برای ساخت تصویر پر شدن ۸۸
۳-۸- روش دو بعدی ۹۰
۳-۹- روش صفحه — حجم ۹۳
۳-۱۰- روش زمان باقیمانده — حجم باقیمانده ۹۳
۳-۱۲- روش شبه ناپایدار ۹٤
۳-۱۲- روش لایهٔ منجمد ۹٤
۳-۱۳- روش های سه بعدی ۹۵

فصل چهارم : طراحی به کمک کامپیوتر و شبیه سازی تزریق پلاستیک

٤-۱- تاریخچه CAD/CAM ۹۸
٤-۱-۱- تعریف CAD، CAM و CAE ۹۸
٤-۱-۲- ساخت به کمک کامپیوتر CAM ۹۹
٤-۱-۳-مهندسی به کمک کامپیوتر CAE ۹۹
٤-۲- مهندسی به کمک کامپیوتر CAE در صنعت پلاستیک ۱۰۱
٤-۳- فشار تزریق ۱۰۲
٤-۳-۱- فیزیک فرآیند ۱۰۲
٤-۳-۲-عوامل مؤثر بر فشار تزریق ۱۰۳
٤-۳-۳-معادلات ۱۰٤
٤-۳-٤-تغییرات فشار تزریق وتعدد نقاط تزریق ۱۰۵
٤-۳—۵- تغییرات فشار نسبت به ضخامت قطعه ۱۰٦
٤-۳-٦- تغییرات فشار بادمای مذاب ودیواره‌های قالب ۱۰۸
٤-۳-۷- تغییرات فشار تزریق با پروفیل سرعت رم ۱۰۹
٤-٤-۱- تعاریف (MFV)و(MFA) ۱۱۰

٤-٤-٢-جبهه مذاب وجهت گیری مولکولها والیاف ١١٠
٤-٤-٣- کاربردهای C-MOLD ١١٢
٤-٥-طراحی راهگاه وبالانس آن(Runner Design and Balancing) ١١٤
٤-٥-١-بالانس راهگاه (Runner Balancing) ١١٤
٤-٥-٢- قوانین طراحی یک راهگاه ایده آل ١١٥
٤-٥-٣- کاربرد های C-Mold ١١٦
٤-٦- انقباض و تابیدگی (Shrinkage and Warpage) ١١٧
٤-٦-١- تعریف انقباض ١١٧
٤-٦-٢- علل انقباض ١١٩
٤-٦-٣- پارامترهای مؤثر در ایجاد انقباض ١٢١
٤-٦-٤- علل انقباض غیر یکنواخت ١٢١
٤-٦-٥- علل تابیدگی ١٢٣
٤-٦-٦- تاثیر نوع فرآوری بر انقباض ١٢٤
٤-٧- مفاهیم تکمیلی برای پیش بینی انقباض ١٢٥
٤-٨- تنشهای پسماند (Residual Stress) ١٢٧
٤-٨-١- فیزیک فرآیند ١٢٧
٤-٨-٢- کاربردهای C-mold ١٢٩
٤-٩- چگونگی شبیه سازی تزریق پلاستیک و تجزیه و تحلیل کاربردی یک طرح و اصلاح آن ١٣٠

فصل پنجم : تجزیه و تحلیل علمی و عملی با استفاده از نرم افزار *C- Mold 3D QuikFill*

٥-١-مقدمه ١٣٧
٥-٢- انتقال اطلاعات در نرم افزار ١٣٧
٥-٣- مزایای نرم افزار ١٣٩
٥-٤- کنسول ترمزدستی پژو 405 ١٤٠
٥-٥- زبانه پلاستیکی اهرم ترمز دستی پژو ٤٠٥ ١٤٣
٥-٦- قاب باطری ١٥٥
٥-٧- قاب رله پژو 405 ١٦٥
٥-٩- خلاصه ای از نتایج وتوصیه ها ١٧٥
٥-١٠-تحقیقات پیشنهادی ١٨٢

فهرست اشکال

کلیه اشکال و فرمولها فصل یک از منابع [4], [5], [6] , [12] گرفته شده است

شکل (۱-۱) ماشینهای تزریق ۲۵
شکل (۱ – ۲) حرکت سیلندر به جلو ۲۶
شکل (۱-۳) مارپیچ تزریق ۲۷
شکل (۱-۴) سر مارپیچ ساده ۲۸
شکل (۱-۵) سرمارپیچ با بریدگی کوچک ۲۸
شکل (۱-۶) سر مارپیچ دندانه دار ۲۸
شکل (۱-۷) سر مارپیچ رینگ دار ۲۸
شکل (۱-۸) قسمت قالب گیری ۳۳
شکل (۱-۹) اجزاء مختلف قالب گیری ۳۴
شکل (۱-۱۰) پرس دستی ساده مکانیکی ۳۶
شکل (۱-۱۱) پرس با صفحه متحرک بازوی مکانیکی ۳۶
شکل (۱-۱۲) پرس دستی ساده هیدرولیکی ۳۷
شکل (۱-۱۳) صفحه ساده متحرک قالب گیری سیستم هیدرولیکی ۳۸
شکل (۱-۱۴) صفحه ساده متحرک قالب گیری، برش خورده با پران هیدرولیکی ۳۹

کلیه اشکال و فرمولها فصل دو از منابع [1], [6] , [8] , [10] , [11] , [13] , [18] گرفته شده است

شکل(۲-۱- A) مقاطع غیر یکنواخت بدلیل انقباض های متفاوت ۴۵
شکل(۲-۱- B) باریکه های مسطح و طویل تاب ۴۵
شکل(۲-۱- C) ضخامت دیوارها و خطوط برجسته در قطعات گرمانرم ۴۶
شکل(۲-۱- D) اهمیت ضخامت یکنواخت ۴۶
شکل(۲-۱- E) یک قطعه که در اثر طراحی غلط فرورفتگی در آن ایجاد شده ۴۷
شکل(۲-۱- F) یک قالب گیری ساده با برشهای داخلی و خارجی ۴۷
شکل(۲-۲) گوشه های قائم که به صورت تیز و اصلاح شده ۴۸
شکل(۲-۳) نمودار ضخامت و طول جریان مذاب ۴۸
شکل(۲-۴) نمودار ضخامت دیواره و قابلیت هدایت جریان ۴۸
شکل(۲-۵) اجزاء تشکیل دهنده یک دستگاه استریولیتو گرافی ۴۹
شکل(۲-۶) سیستم لایه بندی در SLA و مکانیزم اجزاء ۵۰
جدول (۲-۱) شیب در هر طرف برحسب میلیمتر ۵۱
شکل(۲-۸) قالب تزریقی دو صفحه ای ۵۲
شکل(۲-۹) قالب تزریقی سه صفحه ای ۵۲
شکل(۲-۱۰ – A) قطعه قالب گیری شده با راهگاه، تنگه و لوله راهگاه ۵۳

شکل(۲-۱۰ - B) قطعه قالب گیری شده قالب A ۵۴
شکل(۲-۱۲) طراحی راهگاه و آرایش حفره در قالبها ۵۵
شکل(۲-۱۳) انواع مقاطع برای طراحی راهگاه ۵۸
شکل(۲-۱۴) راهگاههای ذوزنقه ای و نیمه مدور ۵۸
شکل(۲-۱۵)(a) رابطه بین وزن قطعه ، قطر راهگاه و ضخامت اسمی ۵۹
شکل(۲-۱۵)(b) رابطه بین وزن قطعه ، قطر راهگاه و ضخامت اسمی ۶۰
شکل(۲-۱۶) رابطه بین طول راهگاه ، ضریب طول و قطر راهگاه ۶۰
جدول(۲-۲) تعیین قطر راهگاه برای انواع مواد عمومی ۶۱
شکل (۲-۱۷) مکان گلوی تزریق ۶۲
شکل (۲-۱۸) تصویر شماتیکی قالب با راهگاه گرم ۶۶
شکل (۲-۱۹) تصویر شماتیکی قالب با راهگاه سرد ۶۷
شکل (۲-۲۰) نمودار توزیع زمان در فرآیند قالب گیری ۶۸
شکل (۲-۲۱) پارامترهای ابعادی در طراحی کانالهای خنک کاری قالبها ۶۹
شکل (۲-۲۲) مدل جریان گرما ۶۹
شکل (۲-۲۳) نمونه ای از طراحی خوب و بد کانالهای خنک کاری ۷۰
شکل (۲-۲۴) یک سیستم خنک کاری در ماشینهای تزیق پلاستیک ۷۰
شکل (۲-۲۵) پیکر بندی کانالهای خنک کاری (سری و موازی) ۷۱
شکل (۲-۲۶) طراحی چیدمان خط خنک کاری برای یک قالب گیری ساده ۷۲
شکل (۲-۲۷) آرایش خط خنک کاری تقسیم شده) ۷۳
شکل (۲-۲۸) آرایش محاسبه شده خط خنک کاری توسط نرم افزار ۷۴
شکل (۲-۲۹) طراحی مسیر کانالهای خنک کاری توسط C-Mold ۷۴
شکل (۲-۳۰) انواع جریان – سمت راست : جریان آشفته ، سمت چپ : جریان آرام ۷۴
جدول (۲-۳) تعیین نوع جریان با توجه به عدد رینولدز ۷۵
شکل (۲-۳۱) طرح اصلاح شده ضخامت به منظور بهینه سازی زمان خنک کاری ۷۵
جدول (۲-٤) پیش بینی زمان خنک کاری توسط C-Mold ۷۶
شکل (۲-۳٤) نمودار رابطهٔ نرخ جریان خنک کننده با زمان خنک کاری ۷۷

کلیه اشکال و فرمولها فصل سه از منابع [6] , [7] , [8] , [11] گرفته شده است

شکل (۳-۱) سری تزریق های مرحله ای کوتاه مدت ۸۰
شکل (۳-۲) مدل پر شدن یک قطعه قالبگیری جعبه ای شکل ۸۰
شکل (۳-۳) خطوط جوش ۸۱
شکل (۳-٤) مثال های گسترش روی صفحه ۸۲
شکل (۳-۵) روش طراحی مدل جریان ۸۵

شکل (۳-٦) جریان پیشرو با ضخامت دیوارهٔ متغیر ۸٦
شکل (۳-۷) پره نازک تر از پایه ۸٦
شکل (۳-۸) پره های نازک تر از پایه ۸۷
شکل (۳-۹) پرهٔ ضخیم تر از پایه ۸۷
شکل (۳-۱۰) اتصال در قطعهٔ قالبگیری جعبه ای شکل ۸۸
شکل (۳-۱۱) خطوط جوش ۸۸
شکل ۳-۱۲ به دام اندازی هوا ۸۹
شکل (۳-۱۳) جعبه ابزار گسترش یافته به صفحه ومدل پر شدن (x گلویی تزریق) ۹۰
شکل (۳-۱٤) محاسبهٔ رئولوژیکی با C-MOULD – 2D ۹۱
شکل (۳-۱۵) نقطه کاری بهینه طبق C- MOULD –2D ۹۲
شکل (۳-۱٦) منحنی ویسکوزیته ۹۲
شکل (۳-۱۷) محاسبهٔ طبق روش صفحه – حجم ۹۳
شکل (۳-۱۸) روش زمان باقیمانده – حجم باقیمانده ۹٤
شکل (۳-۱۹)روش شبه ناپایدار ۹٤
شکل (۳-۲۰) محاسبهٔ سطح مقطع آزاد ۹۵
شکل (۳-۲۱) مدل حجم سه بعدی قطعه (پچ) . مدل پوسته سه بعدی (راست) ۹٦

کلیه اشکال و فرمولها فصل چهار از منابع [8] , [9] , [11] , [13] , [17] گرفته شده است

شکل (٤-۱) توزیع فشار در پلیمر مذاب ۱۰۲
شکل (٤-۲) متغیرهای موثر بر فشار تزریق را نشان می دهد ۱۰٤
شکل (٤-۳) فشار تابعی از ویسکوزیته ، طول جریان ، نرخ حجمی جریان وضخامت ۱۰۵
شکل(٤-٤) تأثیر موقعیت گلویی تزریق بروی فشار تزریق ۱۰۵
شکل(٤-۵) تأثیرضخات قطعه بروی فشار تزریق ۱۰٦
شکل(٤-٦) نحوه اثر گذاری سیستم خنک کاری دیواره‌های قالب ۱۰۷
شکل(٤-۷) نمودار زمان پر شدن بر حسب فشار تزریق ۱۰۷
شکل(٤-۸) نمودار زمان پر شدن بر حسب فشار تزریق مواد مختلف ۱۰۸
شکل(٤-۹) ارتباط بین دمای مذاب ، ضخامت قطعه وفشار ۱۰۹
شکل(٤-۱۰) نمودارسرعت رم بهینه ۱۰۹
شکل(٤-۱۱) سرعت پیش روی جبهه مذاب وسطح جبهه مذاب ۱۱۰
شکل(٤-۱۲) جهت گیر مولکولهای پلیمر ورشته های الیاف تقویت کننده ۱۱۱
شکل(٤-۱۳) عدم بالانس جریان ۱۱۲
شکل(٤-۱٤) پیشروی جبهه مذاب با سرعت رم ثابت ۱۱۳

شکل(٤-١٥) پیشروی جبهه مذاب با سرعت رم متغییر ١١٤

شکل(٤-١٦) راهگاههای بالانس نشده ١١٥
شکل(٤-١٧) طراحی یک راهگاه ایده آل ١١٦
شکل(٤-١٨) راهگاههای بالانس شده ١١٧
شکل(٤-١٩) منحنی انقباض ١١٨
شکل (٤-٢٠) مقدار انقباض با توجه به جهت جریان ١١٩
شکل(٤-٢١) نمودار P-V-T یک ترموپلاستیک بی‌شکل و بلوری ١٢٠
شکل (٤-٢٢) تغییر حالت در نمودار P-V-T ١٢٠
شکل (٤-٢٣) نمودار رابطهٔ انقباض با پارامترهای مختلف فرآیند قالبگیری ١٢١
شکل(٤-٢٤)اثر ساچمه ها و الیاف شیشه ای بر انقباض ١٢٢
شکل (٤-٢٥) انقباض یک صفحه دایروی آزاد ومحدود ١٢٣
شکل (٤-٢٧) تابیدگی بر اثر انقباض غیر یکنواخت ١٢٤

شکل (٤-٢٦) تابیدگی بر اثر اختلاف ضخامت دیواره ١٢٤
شکل (٤-٢٨) اثر فشار حفره قالب ١٢٥
شکل (٤-٢٩) اثر موادتقویت شده بر انقباض ١٢٥
شکل(٤-٣٠) تنشهای پسماند ناشی از حرارت ١٢٧
شکل(٤-٣١) تنشهای پسماند در اثر بالانس نبودن خنک شدن ١٢٨
شکل(٤-٣٢) عدم تقارن در الگوی کشش و فشار ١٢٨
شکل (٤-٣٣) کانالهای خنک‌کاری و نقطه تزریق در مرکز ١٢٩
شکل (٤-٣٤) الگوی پر شدن قطعه درون ١٢٩
شکل (٤-٣٥) دمای دیواره‌های هر دو طرف حفره‌ها ١٢٩
شکل (٤-٣٦) بررسی فرآیند تزریق با یک نقطه تزریق و سرعت رم ثابت ١٣٠
شکل (٤-٣٧) بررسی فرآیند تزریق وپیشانی مذاب (MFA) متفاوت ١٣١
شکل (٤-٣٨) بررسی فرآیند تزریق با یک نقطه تزریق در مرکز سطح قطعه ١٣١
شکل (٤-٣٩) بررسی فرآیند تزریق وپیشانی مذاب (MFA) متفاوت با تزریق در مرکز ١٣١
شکل (٤-٤٠) بررسی فرآیند تزریق با سرعت رم متغییر ١٣٢

شکل (٥-١) کنسول ترمز دستی با یک گلویی تزریق مخروطی ساده در لبه ١٤١
شکل (٥-٢) کنسول ترمز دستی با یک گلویی تزریق مخروطی ساده درناحیه مرکزی قطعه ١٤١
شکل (٥-٣) کنسول ترمز دستی با سه گلویی تزریق مخروطی ساده در سه نقطه از قطعه ١٤٢
شکل (٥-٤) کنسول ترمز دستی با تزریق چهارگانه در چهار نقطه از قطعه ١٤٢