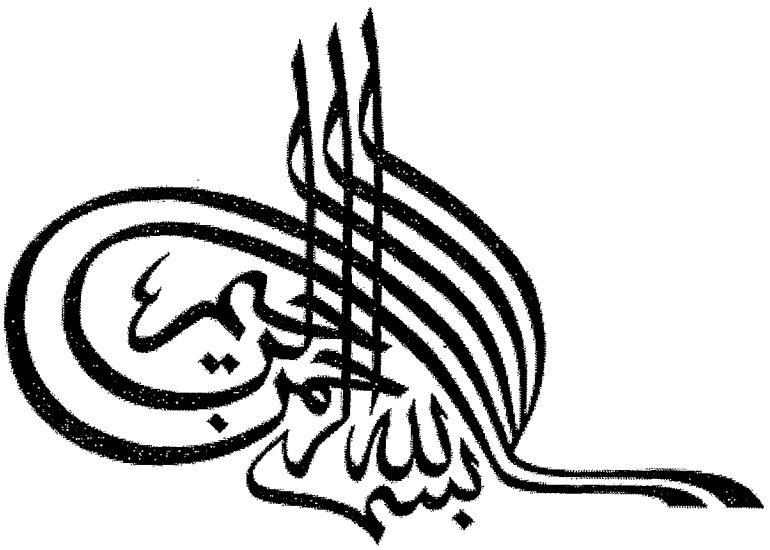


١١٨٤٧٠

۸۷/۱/۱۶۸۷۰
۸۸/۱/۳۱

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مکانیک-ساخت و تولید

آشکارسازی جریان در قالب‌گیری تزریقی فوم‌های ترموپلاستیک

مهدی محمودی

استاد راهنما:

دکتر امیر حسین بهروش

استاد مشاور:

دکتر محمد گلزار

۱۳۸۸/۱۲/۱۸

بهمن ۸۷

۱۱۵۴۷۰

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای مهدی محمودی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان آشکارسازی جریان در قالب گیری تزریقی فوم های پلاستیکی** در تاریخ ۱۳۸۷/۱۱/۱۵ 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 مکانیک - ساخت وتولید پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر امیر حسین بهروش	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر محمد گلزار	استادیار	
استاد ناظر	دکتر یوسف حجت	استادیار	
استاد ناظر	دکتر طاهر ازدست	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمدحسین صادقی	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر امیر حسین بهروش و مشاوره جناب آقای دکتر محمد گلزار از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب مهدی محمودی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: مهدی محمودی

تاریخ و امضا: ۱۳۸۷/۱۱/۲۷

دستورالعمل حق مالکیت معنوی

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، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عنوان‌های پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها/ رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

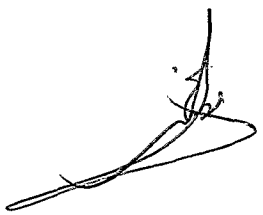
ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و **استاد راهنما** و **نویسنده** مسئول مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود، باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و براساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ 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 رسید و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.



تقدیم به دستان پررنج پدرم

و

مادر فداکارم

سپاس‌گزاری

با سپاس فراوان از آقای دکتر امیر حسین بهروش که از آغاز تا پایان انجام این پایان‌نامه مرا با راهنمایی‌های مفید و ارزنده‌شان یاری نمودند. از جناب آقای دکتر گلزار به خاطر پیگیری‌ها و راهنمایی‌های سودمندشان کمال تشکر را دارم.

همچنین از جناب آقای مهندس رضاوند و پاشایی به دلیل کمک و مساعدت ایشان در انجام آزمایشهای عملی این تحقیق سپاس‌گزاری می‌نمایم.

در پایان از تمامی دوستان در آزمایشگاه تکنوپلاست دانشگاه تربیت مدرس، جناب آقای دکتر ازدست، نظری، ذوالفقاری، سوری، احمدزی، شکوری، شاهی و حق‌شناس قدردانی می‌نمایم.

چکیده

در این تحقیق به بررسی دینامیک رشد حباب در قالب‌گیری تزریقی فوم‌های ترموپلاستیک فیزیکی در شرایط غیرهمدما پرداخته شده است. پدیده رشد و خصوصاً فروپاشی حباب از دو جنبه تئوری و تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. در انجام آزمایش‌ها، از ماده پلیمری پلی استایرن و از دی اکسید کربن بعنوان ماده پف دهنده استفاده شد و رفتار این سیستم با استفاده از یک قالب آشکارسازی به همراه یک دوربین سرعت بالا مشاهده شده است. رفتار رشد و فروپاشی حباب در سیستم $PS\text{-}CO_2$، با تغییر در میزان فشار نگهداری اعمال شده و تغییر در زمان رشد حباب-ها، مورد مطالعه قرار گرفته است. در بخش تئوری این تحقیق مدل "قانون توان" (مدل *power law*) جهت پیش بینی رفتار حباب‌ها در شرایط غیرهمدما ارائه شده است. نتایج به دست آمده از مدل قانون توان، با نتایج حاصل از مشاهدات تجربی مقایسه شده و تطابق خوبی بین مدل تئوری و نتایج تجربی مشاهده می‌گردد.

فهرست مطالب

فهرست ..... صفحه
فهرست مطالب ..... أ
فهرست شکل‌ها ..... ج
فهرست جدول‌ها ..... و
نمادها ..... ز
فصل ۱: اصول قالب‌گیری تزریقی فوم‌های پلیمری و مطالعه مفاهیم ۱
۱-۱- فرآیند قالب‌گیری تزریقی ۲
۱-۲- ماشین قالب‌گیری تزریقی ۳
۱-۲-۱- اجزای اصلی ماشین قالب‌گیری تزریقی ۳
۱-۳- فوم‌های پلاستیکی ۷
۱-۴- مروری بر تاریخچه فوم‌های پلیمری ۸
۱-۵- قالب‌گیری فوم‌های ساختاری ۱۰
۱-۶- عامل فوم‌زا ۱۲
۱-۶-۱- عامل فوم‌زای فیزیکی ۱۳
۱-۶-۲- عامل فوم‌زای شیمیایی ۱۴
۱-۷- کاربردهای تکنولوژی فوم ۱۵
۱-۸- بررسی دینامیک حباب در قالب‌گیری تزریقی فوم‌های پلیمری ۱۷
۱-۸-۱- تزریق گاز فوم‌زا به درون مذاب ۱۸
۱-۸-۲- جوانه‌زنی ۲۲
۱-۸-۳- جوانه‌زنی همگن و ناهمگن ۲۵
۱-۸-۴- رشد حباب ۲۷
۱-۸-۵- فروپاشی حباب‌ها در سیالات پلیمری ۲۸
۱-۸-۶- انعقاد سلول‌ها در قالب‌گیری تزریقی فوم ۲۹
۱-۹- پیشینه پژوهش ۲۹
۱-۱۰- هدف تحقیق ۳۳
فصل ۲: آشکارسازی و کاربرد آن در قالب‌گیری تزریقی ۳۴
۲-۱- آشکارسازی جریان ۳۵

۲-۲- آشکارسازی در قالب‌گیری تزریقی ۳۹
۲-۲-۱- تاریخچه آشکارسازی در قالب‌گیری تزریقی ۴۰
۲-۲-۲- کاربردهای آشکارسازی در قالب‌گیری تزریقی ۴۳
فصل ۳: بسط مدل قانون توان در شرایط غیرهمدما ۴۵
۳-۱- مدل قانون توان ۴۶
۳-۱-۱- مدل قانون توان بسط داده شده در این پژوهش ۵۰
فصل ۴: تجهیزات و روش کار ۵۳
۴-۱- امکانات و تجهیزات ۵۴
۴-۲- شرح آزمایشها ۵۹
۴-۳- روش کار ۶۲
فصل ۵: نتایج و بحث ۶۴
۵-۱- آشکارسازی فاز تزریق در قالب‌گیری تزریقی فوم ۶۵
۵-۱-۱- آشکارسازی پر شدن قالب در قالب‌گیری تزریقی فوم ۶۵
۵-۱-۲- آشکارسازی رشد حباب در قالب‌گیری فومهای تزریقی ۶۷
۵-۱-۳- آشکارسازی حذف (فروپاشی) حباب‌ها در اثر اعمال فشار ۷۱
۵-۱-۴- آشکارسازی رشد دوباره حباب‌ها پس از برداشتن فشار ۷۵
۵-۲- به دست آوردن فشار درون حفره قالب ۷۹
فصل ۶: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۲
۶-۱- نتایج ۹۳
۶-۲- پیشنهادها ۹۵
پیوست ۱: افت دما در قالب‌گیری تزریقی ۹۳
پیوست ۲: کشش سطحی و چگالی پلی‌استایرن ۹۸
پیوست ۳: نفوذ و حلالیت گاز دی‌اکسید کربن در پلی‌استایرن ۱۰۰
پیوست ۴: به دست آوردن اندیس‌های قانون توان (K و n) ۱۰۲

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه
شکل (۱-۱): ماشین قالب‌گیری تزریقی (ساخت شرکت Arburg) ۳
شکل (۱-۲): شماتیک واحد ذوب سازی و تزریق ۴
شکل (۱-۳): شماتیک یک قالب تزریق پلاستیک ۵
شکل (۱-۴): سیستم گیره‌بندی مرسوم در ماشین قالب‌گیری تزریقی ۶
شکل (۱-۵):شماتیک قالب‌گیری تزریقی فوم‌های ساختاری ۱۱
شکل (۱-۶): قالب‌گیری فوم ساختاری به روش فشار معکوس ۱۲
شکل (۱-۷): روند کلی تولید فوم ترموپلاستیک ۱۳
شکل (۱-۸): منحنی تقریبی تجزیه شدن عامل فومزای شیمیایی بر حسب زمان ۱۵
شکل (۱-۹): نمونه ای از کاربرد فوم‌های پلیمری در صنایع مختلف ۱۶
شکل (۱-۱۰): شماتیک پروسه تزریق گاز به درون سیلندر دستگاه تزریق ۱۸
شکل (۱-۱۱): شماتیک جوانه‌زنی ناهمگن بر روی سطح خارجی یک ناخالصی ۲۶
شکل (۱-۱۲): انرژی آزاد گیبس در حالت جوانه‌زنی همگن و ناهمگن ۲۷
شکل (۱-۱۳): منحنی مشخصه فوم شدن در تحقیق بهروش و رجب پور ۳۲
شکل (۲-۱): نمونه‌ای از کاربرد آشکارسازی جریان سیال به کمک رنگ ۳۶
شکل (۲-۲): ساختار تحلیلی دیجیتالی تصویر ۳۸
شکل (۲-۳): تصاویر ارائه شده توسط یامادا و همکارانش از آشکارسازی فوم میکروسلولی در قالب‌گیری تزریقی ۴۱
شکل (۲-۴): برخی از تصاویر ضبط شده از رفتار مواد در قالب‌گیری تزریقی در تحقیق فتحی و بهروش ۴۲
شکل (۳-۱): شماتیک یک حباب در حال رشد در محیط پلیمری ۴۷
شکل (۴-۱): تجهیزات فراهم شده جهت آشکارسازی فوم (CO_2-PS) ۵۴
شکل (۴-۲): الف) نازل پنوماتیک و ب) دستگاه تزریق استفاده شده جهت تولید قطعات فومی ۵۵
شکل (۴-۳): تجهیزات تزریق گاز به درون سیلندر دستگاه ۵۶
شکل (۴-۴): قالب آشکارسازی، الف) شماتیک قالب و ب) قالب مونتاژ شده بر روی دستگاه تزریق ۵۷
شکل (۴-۵): مشخصات قطعه طراحی شده ۵۸
شکل (۴-۶): دوربین سرعت بالا و موقعیت قرار گرفتن لنز و پروژکتور در بالای قالب ۵۸
شکل (۴-۷): تجهیزات استفاده شده جهت به دست آوردن فشار در درون حفره قالب ۵۹

شکل (۴-۸): فوم تولید شده با استفاده از عامل فومزای شیمیایی، آزودی‌کربن ۶۰
شکل (۴-۹): فوم تولید شده با استفاده از رطوبت به عنوان عامل فومزا ۶۰
شکل (۴-۱۰): قطعه به دست آمده با استفاده از دی اکسید کربن به عنوان عامل فومزا ۶۱
شکل (۴-۱۱): نمودار فشار تزریق- زمان در کل زمان یک سیکل ۶۳
شکل (۵-۱): آشکارسازی مرحله پر شدن قالب توسط سیستم پلی استایرن- دی اکسید کربن ۶۷
شکل (۵-۲): آشکارسازی رشد حباب در قالب‌گیری تزریقی فوم ۶۸
شکل (۵-۳): نمودار شعاع حباب بر حسب زمان برای نمونه‌ای با فشار تزریق ۱۵ MPa و زمان رشد ۱۰ ثانیه ۷۱
شکل (۵-۴): آشکارسازی حذف حباب‌ها از طریق اعمال فشار ۱۰ MPa به سیستم ۷۲
شکل (۵-۵): نمودار شعاع حباب - زمان برای سه فشار نگهداری مختلف (۱۰ MPa، ۱۵ و ۱۸) و پس از گذشت ۱۰ ثانیه از رشد حباب‌ها ۷۳
شکل (۵-۶): مقایسه انرژی آزاد سیستم های مختلف و از بین رفتن و یا رشد حباب ۷۵
شکل (۵-۷): آشکارسازی رشد دوباره حباب‌های از بین رفته پس از برداشتن فشار (۱۰ MPa) ۷۶
شکل (۵-۸): شعاع حباب بر حسب زمان در هر سه مرحله شامل ۱) رشد حباب (۱۰ ثانیه)، ۲) اعمال فشار نگهداری متفاوت (۲۵ ثانیه) و ۳) توقف فشار ۷۷
شکل (۵-۹): شعاع حباب بر حسب زمان در هر سه مرحله شامل ۱) رشد حباب (۱۵ ثانیه)، ۲) اعمال فشار نگهداری متفاوت (۲۵ ثانیه) و ۳) توقف فشار ۷۸
شکل (۵-۱۰): شعاع حباب بر حسب زمان در هر سه مرحله شامل ۱) رشد حباب (۲۵ ثانیه)، ۲) اعمال فشار نگهداری متفاوت (۲۵ ثانیه) و ۳) توقف فشار ۷۹
شکل (۵-۱۱): تجهیزات فراهم شده جهت اطمینان یافتن از کالیبره بودن دستگاه فشارسنج ۸۰
شکل (۵-۱۲): تجهیزات فراهم شده جهت اندازه‌گیری فشار درون حفره قالب ۸۱
شکل (۵-۱۳): مدل المان بندی شده قطعه تحلیل شده در نرم افزار Moldflow ۸۲
شکل (۵-۱۴): منحنی فشار-زمان در دو نقطه متفاوت ۸۳
شکل (۵-۱۵): مقایسه نتایج آشکارسازی با نتایج حاصل از تئوری (مدل قانون توان) برای رشد آزاد (بدون اعمال فشار نگهداری به سیستم) ۸۴
شکل (۵-۱۶): بررسی تئوری اثر میزان غلظت گاز دی اکسید کربن بر رشد حباب ۸۵
شکل (۵-۱۷): بررسی تئوری اثر شعاع اولیه بر میزان نهایی شعاع حباب ۸۶
شکل (۵-۱۸): بررسی تئوری اثر میزان حرارت اولیه مذاب بر رشد حباب ۸۷
شکل (۵-۱۹): بررسی دینامیک حباب در فشار ۱۰ MPa و با زمانهای رشد متفاوت ۸۸

شکل (۵-۲۰): بررسی دینامیک حباب در فشار ۱۵ MPa و با زمانهای رشد متفاوت ۸۹
شکل (۵-۲۱): بررسی دینامیک حباب در فشار ۱۸ MPa و با زمانهای رشد متفاوت ۹۰
شکل (۶-۱): تغییرات دما برای ماده پلی استایرن تزریق شده در قالب مورد بررسی ۹۷
شکل (۶-۲): تغییرات کشش سطحی بر حسب دما برای ماده پلی استایرن ۹۸
شکل (۶-۳): تغییرات چگالی پلی استایرن بر حسب دما ۹۹
شکل (۶-۴): تغییرات ضریب نفوذ با دما برای سیستم $PS\text{-}CO_2$ ۱۰۰
شکل (۶-۵): تغییرات ثابت هنری بر حسب دما برای سیستم دی اکسید کربن- پلی استایرن ۱۰۱
شکل (۶-۶): شماتیک تجهیزات استفاده شده در تحقیق رویر و همکارانش ۱۰۳
شکل (۶-۷): شماتیک قالب شکاف دار و نازل استفاده شده جهت اندازه گیری ویسکوزیته در تحقیق انجام شده توسط رویر و همکارانش ۱۰۳

فهرست جدول‌ها

عنوان ..... صفحه
جدول (۱-۱): تاریخچه معرفی فرآیندهای مهم در صنعت فوم ۹
جدول (۲-۱): مقایسه آزمایشهای جریان ۳۷
جدول (۲-۲): روشهای متداول آشکارسازی ۳۷
جدول (۴-۱): متغیرهای بررسی شده در این تحقیق ۶۲

نمادها

a_c		ضریب انتقال غلظت
a_p		ضریب انتقال فشار
a_T		ضریب انتقال دما
c		غلظت وزنی گاز فوم زا
c_0		غلظت وزنی اولیه گاز فومزا
C_0		تعداد مولکولهای گاز در محلول به ازای حجم واحد
c_w		غلظت وزنی گاز فومزا در دیواره حباب
c_∞		غلظت وزنی گاز در نقطه‌ای دور از حباب
c_1, c_2		ثابت‌های WLF
C_p	(J/kg K)	ظرفیت گرمایی ویژه
D	(m^2/s)	ضریب نفوذ
D_0	(m^2/s)	ضریب نفوذ در دمای مرجع (۲۹۸ °K)
E_d	(kcal/mol)	انرژی فعالسازی جهت نفوذ گاز
f_0		تابع مختلط به کار رفته در معادله (۱-۷)
G	(J)	انرژی
h	(m)	ضخامت
k	(W/mK)	رسانایی گرمایی
k_h	(cm3(STP)/g atm)	ثابت قانون هنری
K	($Pa.s^n$)	فاکتور حساسیت
K_0	($Pa.s^n$)	فاکتور حساسیت در دمای مرجع
M	(g/mol)	وزن مولکولی گاز فومزا
n		توان ویسکوزیته
N	($cells/cm^3$)	تعداد جوانه‌های ایجاد شده در هر سانتیمتر مکعب
P_g	(Pa)	فشار درون حباب
P_a	(Pa)	فشار در دیواره حباب
P_∞	(Pa)	فشار در نقطه‌ای دور از حباب
R	(μm)	شعاع حباب
R_0	(μm)	شعاع اولیه حباب
$\overset{*}{R}$		شعاع بی‌بعد
$\bar{R}$	(J/K mol)	ثابت گازها
r	(μm)	فاصله در مختصات شعاعی
T	(K)	دما

T_0	(K)	دمای مرجع
t	(s)	زمان
t^*		زمان بی‌بعد
T_g	(K)	دمای شیشه‌ای شدن
T_m	(K)	دمای مذاب
T_w	(K)	دمای دیواره قالب
T_c	(K)	دمای بحرانی پلی استایرن
ρ_l	(kg/m^3)	چگالی مذاب پلیمری
ρ_g	(kg/m^3)	چگالی گاز
ρ_{go}	(kg/m^3)	چگالی اولیه گاز
ξ^*		متغیر بی‌بعد
θ	(s)	زمان مرجع
σ	(N/m)	کشش سطحی
σ_{lg}	(N/m)	کشش سطحی در سطح مشترک حباب و پلیمر
σ_0	(N/m)	کشش سطحی در دمای مرجع
ΔH_s	(J/mol)	گرمای انحلال
η	(Pa.s)	ویسکوزیته
α		پارامتر تجربی
ΔG	(J)	تغییرات انرژی آزاد گیبس

فصل ۱

اصول قالب‌گیری تزریقی فوم‌های پلیمری

و مطالعه مفاهیم

مقدمه

قالب‌گیری تزریقی حوزه وسیعی از صنعت پلاستیک را تشکیل می‌دهد. امروزه نزدیک به ۳۲٪ قطعات پلاستیکی با این روش تولید می‌گردند که از لحاظ تولید وزنی پس از فرآیند اکستروژن که ۳۶٪ از تولید وزنی قطعات را شامل می‌گردد، در مکان دوم قرار دارد *[3-1]*. تنها در سال ۲۰۰۰، در ایالات متحده در حدود ۸۰۰۰۰ ماشین تزریق پلاستیک و ۱۸۰۰۰ دستگاه اکسترودر در حال فعالیت بودند *[4]*. در این فصل سعی داریم تا ابتدا راجع به فرآیند قالب‌گیری تزریقی و ماشین تزریق مطالبی را عنوان نماییم و سپس به معرفی فرآیند قالب‌گیری تزریقی فوم‌های ترموپلاستیک و مفاهیم آن خواهیم پرداخت.

۱-۱- فرآیند قالب‌گیری تزریقی

فرآیند تزریق پلاستیک شامل پنج بخش اساسی می‌باشد. این بخش‌ها عبارتند از

- ذوب سازی مواد، شامل حرارت دادن مواد در داخل سیلندر تزریق.
- تزریق مواد از قسمت سیلندر به درون یک محفظه بسته (قالب).
- اعمال فشار به ماده قالب‌گیری شده جهت جلوگیری از برگشت مواد و همچنین کاهش میزان انقباض.
- خنک کاری، شامل پایین آوردن دمای ترموپلاستیک تزریق شده تا زمان دستیابی به استحکام کافی.
- بیرون اندازی قطعه.

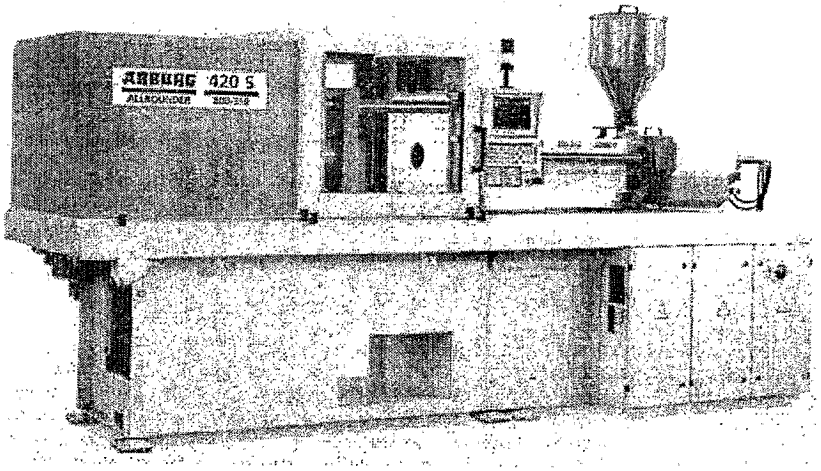
در ادامه سعی می‌کنیم تا با معرفی ماشین قالب‌گیری تزریقی، مراحل فرآیند را به صورت کامل‌تری توضیح دهیم.

۱-۲- ماشین قالب‌گیری تزریقی

ماشین‌های قالب‌گیری تزریقی بر اساس مشخصه میزان حجم تزریق دسته بندی می‌گردند. این مشخصه، نشان دهنده بیشترین حجم پلیمر قابل تزریق به درون قالب می‌باشد و در حدود ۳۰-۷۰٪ حجم پلیمر مذاب در محفظه بین سیلندر و ماردون دستگاه است. البته بایستی متذکر شویم که این میزان به رفتار پلیمر مذاب تزریق شده و رفتار انقباضی آن وابستگی شدیدی دارد. گاهاً این میزان بر حسب گرم یا انس برای پلیمر پلی استایرن بیان می‌گردد. اما از آنجاییکه پلاستیک‌ها دارای دانسیته‌های متفاوتی می-باشند، یک راه بهتر جهت بیان اندازه تزریق، میزان حجم مذابی است که تحت یک فشار مشخص به درون قالب می توان تزریق نمود. امروزه دستگاه های قالب‌گیری تزریقی با محدوده فشار تزریق *psi* ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ (*MPa* ۱۴- ۲۰۵) موجود می‌باشند *[4]*.

۱-۲-۱- اجزای اصلی ماشین قالب‌گیری تزریقی

شکل (۱-۱) شماتیک کلی یک ماشین قالب‌گیری تزریقی را نشان می‌دهد. به طور کلی اجزای اصلی این ماشین شامل واحد ذوب سازی و تزریق، مجموعه قالب، واحد گیره‌بندی و واحد کنترل توسط سیستم‌های هیدرولیکی و الکتریکی می‌باشد.

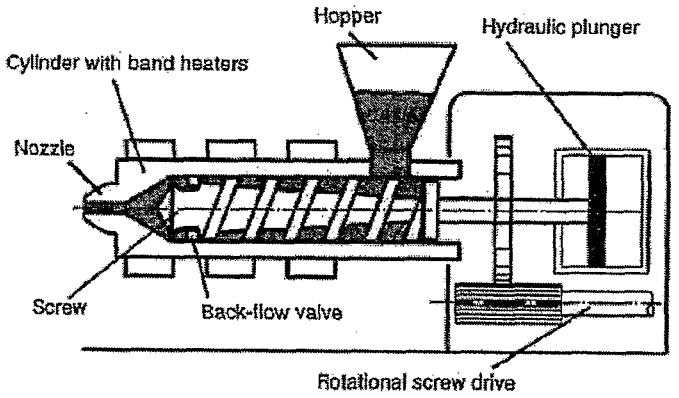


شکل (۱-۱): ماشین قالب‌گیری تزریقی (ساخت شرکت *Arburg*)

- واحد ذوب سازی و تزریق: عملکرد اصلی این واحد شامل موارد زیر می‌باشد:

  - ذوب پلیمر
  - انتقال مذاب پلیمری به سمت انتهای ماردون
  - جمع کردن مذاب در قسمت انتهایی واحد
  - تزریق ماده به درون حفره قالب
  - فراهم کردن فشار نگهداری

شکل (۱-۳)شکل (۱-۲) شماتیک کلی واحد ذوب سازی و تزریق مواد را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۲): شماتیک واحد ذوب سازی و تزریق *[5]*

- قالب:

مذابی که در اثر حرکت خطی و روبه جلوی ماردون به درون بوش تزریق وارد می‌گردد، پس از عبور از راهگاه های اصلی و فرعی از گیت عبور کرده و وارد حفره قالب می‌شود. راهگاه‌ها و گیت بایستی به گونه‌ای طراحی و ساخته شوند که مذاب به صورت کاملاً