

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

١٥٨١٤



دانشکده فنی

گروه مکانیک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

تعیین مکان بهینه دریچه ورود مذاب در قالب های تزریق پلاستیک

۱۳۸۹/۴/۸

سید مهدی علی الموسوی

لیست اطلاعات درک علمی بزرگ
تمت درک

استاد راهنما:

دکتر مقصود سلیمانپور

دکتر طاهر از دست

بهمن ۱۳۸۸

۱۳۸۸۱۷

تقدیم بہ مادر م

تقدیر و شکر:

با تشکر فراوان از زحمات و راهنماییهای اساتید محترم و گرانقدر آقایان دکتر مقصود سلیمانپور و دکتر طاهر ازدست که در انجام این پروژه همواره یاری رسان و دلسوز بودند.

همچنین لازم است که از اساتید گروه مکانیک آقای دکتر دنیوی، دکتر رضازاده، دکتر شعبانی و دکتر جعفرمدار نهایت تشکر را داشته باشم.

چون چرخ بگام یک خردمند نکشت

خواهی تو فلک هفت شمر خواهی هشت

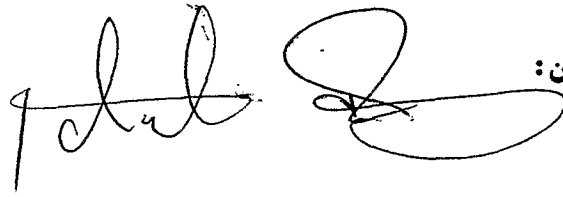
چون باید مرد و آرزو ما هیم هشت

چه مور خورد به کور و چه کرک به دشت

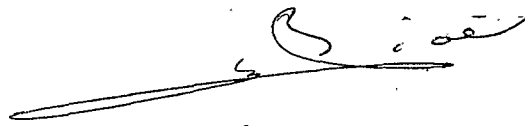
مورد پذیرش هیأت محترم

بایان نامه سرمدی علی المرستی به تاریخ ۶، ۱۱، ۸۸ شماره

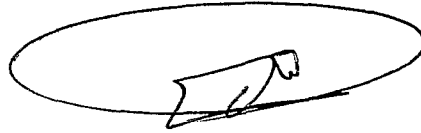
داوران بارتبه و نمره ۱۹-۱ قرار گرفت.



۱- استاد راهنما و رئیس هیئت داوران:



۲- داور داخل:
۲- استاد مشاور:



۳- داور خارجی:



۵- نماینده تحصیلات تکمیلی:

مهر و امضاء هیئت داوران
مهر و امضاء هیئت داوران

چکیده:

فرآیندهای تزریق پلاستیک شامل تزریق، نگهداری، خنک‌کاری، خارج کردن قطعه و کنترل کیفیت محصول و فرآیند می‌باشند. این فرآیندها به ترتیب برای هر محصولی که برای تولید به روش تزریق پلاستیک طراحی شده‌اند، اجرا می‌گردند. داشتن دانش اولیه درباره فرآیندهایی که به کار گرفته خواهند شد بسیار ضروری است، زیرا شرایط رقابتی حاکم بر بازار ما را ملزم به تولید سریع و ارزان و در عین حال، با کیفیت بالا می‌کند. نرم‌افزارهای مهندسی و آنالیز به روش عددی جهت برآوردن این نیاز به کار گرفته می‌شوند. یکی از نرم‌افزارهای مهندسی تجاری در زمینه - ی تزریق پلاستیک **MoldFlow Plastic Insight (MPI)** می‌باشد. در این تحقیق، آنالیز مکان بهینه تزریق و همچنین آنالیز جریان و انقباض به منظور بدست آوردن مقادیر مربوط به میزان انقباض، به عنوان یکی از عیوب قطعات تولیدی به روش تزریق پلاستیک، و ماکزیمم فشار درون قالب، به عنوان یک عامل تأثیرگذار بر کیفیت قطعه انجام گرفته است. متغیرهای مدل این تحقیق دو مورد از پارامترهای عملکردی فرآیند تولید، شامل دمای قالب و دمای مذاب و یک پارامتر طراحی با عنوان تعیین مکان دریچه تزریق می‌باشند.

طراحی دریچه تزریق یکی از مهمترین جنبه‌های طراحی قالب محسوب می‌شود و شامل تعیین تعداد دریچه‌ها مکان و نوع آنها می‌باشد. به منظور تولید قطعات با کیفیت بالا لازم است که از همگونی جریان در داخل قالب در طول فرآیند پر شدن اطمینان حاصل نماییم. این شرایط در عین حال می‌تواند منجر به کاهش ماکزیمم فشار تزریق و همچنین نیروی لازم برای بسته نگه داشتن قالب گردد. مکان دریچه تزریق به عنوان یک عامل اساسی تأثیرگذار بر تلاطم جریان، تأثیر زیادی بر کیفیت قطعه خواهد داشت.

بسیاری از قطعات تولید شده به روش تزریق پلاستیک، با استفاده از یک دریچه تولید می‌شوند، لذا تعیین مکان دریچه تزریق واحد، از رایج‌ترین پارامترهای طراحی به منظور بهینه‌سازی محسوب می‌گردد. محققان بسیاری در طی سالیان اخیر طراحی دریچه تزریق را از جنبه‌های متفاوت بررسی کرده و در پی یافتن راهی جهت کاستن وابستگی طراحی به تجربه طراح بوده‌اند.

روش رایج در یافتن مکان بهینه تزریق به این گونه بوده که، ابتدا تمام پارامترهای فرآیند تولید را ثابت فرض می‌کردند و در این شرایط ثابت، رابطه بین چند نقطه بعنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود و در نهایت نقطه‌ای که بیشترین نقش را در برآوردن هدف داشت انتخاب می‌شد، سپس با ثابت نگه داشتن مکان دریچه تزریق، پارامترهای تولید را بهینه می‌کردند (روشی که در **MPI** هم اجرا می‌شود). در این تحقیق تلاش شد تا این دو عامل به طور همزمان بهینه گردند.

در این تحقیق شبکه‌های عصبی به عنوان یک ابزار قدرتمند در پیش‌بینی رابطه‌های غیرخطی، برای استخراج رابطه‌ی میان متغیرهای مدل با میزان انقباض و فشار درون قالب به کار گرفته شد. روش انتخاب شده برای بهینه‌سازی در این تحقیق روش تاگوچی می‌باشد که یک ابزار سریع و کم هزینه در تولید مقادیر بهینه می‌باشد، اما این روش در رابطه با این مسئله یک نقطه ضعف عمده داشت و آن هم عدم توانایی در پیش‌بینی مقادیر بهینه در حد فاصل سطوح آزمایش شده می‌باشد. لذا با استفاده از شبکه‌های عصبی طراحی شده توانستیم نقاط لازم را بدون انجام شبیه‌سازی تولید کرده و با رفع این کاستی نتایج مطلوبی را در جهت کاهش میزان انقباض و فشار درون قالب تولید نماییم و مشخص شد که بعد از دمای مذاب بیشترین تأثیر را بر هر دو مقدار انقباض و فشار درون قالب داراست.

فهرست مطالب:

فصل اول : پلاستیک‌ها و روش‌های فرآیند نمودن آنها

۱	۱-۱ مقدمه
۱	۲-۱ مواد پلیمری
۱	۳-۱ پلاستیک‌ها
۳	۱-۳-۱ طبقه‌بندی ترموپلاستیک‌ها بر مبنای کارایی و شرایط کاری آنها در عمل
۴	۴-۱ نحوه‌ی انتخاب پلاستیک‌ها
۷	۵-۱ روش‌های رایج شکل‌دهی پلاستیک‌ها
۸	۱-۵-۱ اکستروژن
۸	۲-۵-۱ شکل‌گیری گرمایی (حرارتی)
۹	۳-۵-۱ غلتکرانی
۱۰	۴-۵-۱ قالبگیری چرخشی
۱۰	۵-۵-۱ قالبگیری فشاری
۱۰	۶-۵-۱ قالبگیری انتقالی

فصل دوم : قالبگیری تزریق پلاستیک

۱۲	۱-۲ مقدمه
۱۳	۲-۲ جزئیات فرآیند قالبگیری تزریقی
۱۴	۳-۲ قسمت‌های مختلف ماشین قالبگیری تزریقی
۱۵	۴-۲ قالب‌های تزریقی
۱۵	۱-۴-۲ انواع رایج قالب‌های تزریق پلاستیک
۱۷	۲-۴-۲ اجزای قالب تزریق پلاستیک
۲۳	۵-۲ پارامترهای تزریق پلاستیک
۲۶	۶-۲ عیوب در قطعات قالبگیری تزریقی
۲۶	۱-۶-۲ خط‌جوش
۲۸	۲-۶-۲ مکش
۲۹	۳-۶-۲ رگه‌های نقره‌ای

۳۰	۴-۶-۲ پدیده انقباض
۳۲	۱-۴-۶-۲ دیاگرام PVT
۳۴	۲-۴-۶-۲ عوامل مؤثر بر انقباض
۳۷	۳-۴-۶-۲ پیش‌بینی انقباض

فصل سوم : مبانی شبکه‌های عصبی

۳۹	۱-۳ شبکه‌های عصبی مصنوعی
۳۹	۱-۱-۳ معنای شبکه‌های عصبی مصنوعی
۴۰	۲-۱-۳ انگیزه‌های بیولوژیکی
۴۲	۳-۱-۳ تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی
۴۲	۴-۱-۳ کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی
۴۳	۲-۳ مبانی نظری شبکه‌های عصبی
۴۵	۳-۳ تقسیم‌بندی شبکه‌ها
۴۷	۴-۳ ساختارهای شبکه پرسپترون
۴۷	۱-۴-۳ شبکه آدالاین
۴۸	۲-۴-۳ شبکه پرسپترون چندلایه
۵۲	۵-۳ معرفی و نحوه‌ی کار با دستورات MATLAB برای طراحی شبکه عصبی
۵۵	۱-۵-۳ استفاده از برنامه MATLAB برای طراحی یک شبکه عصبی پرسپترون
۵۶	۲-۵-۳ محدودیت‌های MATLAB برای طراحی شبکه عصبی

فصل چهارم : مبانی طراحی آزمایش و روش تاگوچی

۵۷	۱-۴ اصول طراحی آزمایش
۵۷	۱-۱-۴ مقدمه
۵۸	۲-۴ تجزیه و تحلیل واریانس
۶۳	۳-۴ آنالیز واریانس
۶۴	۴-۴ مبانی نظری تاگوچی
۶۴	۱-۴-۴ تابع زیان
۶۶	۲-۴-۴ کنترل کیفیت خارج از خط

۶۸	۵-۴ نسبت سیگنال به اغتشاش
۶۹	۶-۴ رویکرد طراحی پارامتری تاگوچی
	فصل پنجم : مروری بر مطالعات انجام شده
۷۲	۱-۵ مقدمه
۷۲	۲-۵ تحقیقات انجام شده
	فصل ششم : شبیه‌سازی و بهینه‌سازی محل دریچه تزریق
۸۰	۱-۶ مقدمه
۸۰	۲-۶ ساختار مسئله
۸۱	۳-۶ انتخاب قطعه
۸۲	۴-۶ انتخاب پلیمر جهت انجام تزریق
۸۴	۵-۶ شبیه‌سازی فرآیند تزریق
۸۶	۶-۶ آنالیز واریانس
۸۸	۷-۶ طراحی شبکه عصبی
۸۸	۱-۷-۶ انتخاب شبکه عصبی برای فرمت مسئله
۸۹	۲-۷-۶ روش طراحی شبکه عصبی برای میزان انقباض
۹۱	۳-۷-۶ روش طراحی شبکه عصبی برای فشار درون قالب
۹۳	۸-۶ بهینه‌سازی
۹۳	۱-۷-۶ بهینه‌سازی شرایط فرآیند با هدف کاهش انقباض
۹۵	۲-۸-۶ بهینه‌سازی شرایط فرآیند با هدف کاهش فشار
۹۷	۳-۸-۶ انتخاب آرایش بهینه متغیرها
	فصل هفتم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۹۹	۱-۷ نتیجه‌گیری
۱۰۰	۲-۷ پیشنهادات
۱۰۱	منابع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: نمودار تنش - کرنش ۵
- شکل ۲-۱: دستگاه اکستروژن ۸
- شکل ۳-۱: یک نمونه اکسترودر تک ماردرنه ۸
- شکل ۴-۱: عملیات شکل‌گیری در خلاء ۹
- شکل ۵-۱: نمونه‌ای از آرایش غلتک‌ها در دستگاه غلتکران ۹
- شکل ۶-۱: اصول قالبگیری فشاری ۱۰
- شکل ۷-۱: قالبگیری انتقالی برای مواد گرماسخت ۱۱
- شکل ۱-۲: ماشین قالبگیری تزریقی ۱۳
- شکل ۲-۲: شماتیک یک واحد ذوب‌کننده و تزریق ۱۴
- شکل ۳-۲: نمای کلی یک قالب تزریق پلاستیک ۱۶
- شکل ۴-۲: سطح تماس تخت بین نازل ماشین و بوش تغذیه ۱۷
- شکل ۵-۲: سطح تماس منحنی بین نازل ماشین و بوش تغذیه ۱۷
- شکل ۶-۲: سطح مقطع‌های رایج برای راهگاه ۱۸
- شکل ۷-۲: انواع گلوبی‌های تزریق ۱۹
- شکل ۸-۲: مقاطع گلوبی‌های تزریق و موقعیت آنها در راهگاه ۲۰
- شکل ۹-۲: دستورات طراحی گلوبی تزریق ۲۱
- شکل ۱۰-۲: مسیر جریان مذاب برای موقعیت‌های مختلف گلوبی تزریق ۲۲
- شکل ۱۱-۲: سمت‌گیری مولکولی عمود ... ۲۲
- شکل ۱۲-۲: سمت‌گیری مولکولی عمود ... ۲۲
- شکل ۱۳-۲: اثر موقعیت گلوبی تزریق بر کیفیت قالبگیری CAB ۲۲
- شکل ۱۴-۲: خطوط بافته پشت سوراخ‌ها یا شکاف‌ها باعث ایجاد نقاطی با استحکام کم می‌شود ۲۳
- شکل ۱۵-۲: خط‌جوش و ذوب ۲۷
- شکل ۱۶-۲: خط جوش در مواد الیاف دار ۲۷
- شکل ۱۷-۲: کیفیت و استحکام خط‌جوش با تغییر محل دریچه ۲۷
- شکل ۱۸-۲: مکش در یک قطعه قالبگیری شده ۲۸
- شکل ۱۹-۲: رگه‌های نقره‌ای ناشی از حضور رطوبت در ماده ۳۰
- شکل ۲۰-۲: تغییرات ابعادی بصورت یک تابع زمان ۳۰
- شکل ۲۱-۲: تغییر حجم ماده با افزایش دما ۳۱
- شکل ۲۲-۲: تغییر حجم ماده با افزایش فشار ۳۱
- شکل ۲۳-۲: تغییر حجم ماده با تغییر فشار و دما ۳۱
- شکل ۲۴-۲: نمودار PVT یک ترموپلاستیک بی‌شکل (چپ) و بلوری (راست) ۳۲
- شکل ۲۵-۲: نمودار مربوط به تغییرات فشار-زمان (راست) و PVT (چپ) ۳۳

- شکل ۲-۲۶: کاربرد نمودار PVT در پیش‌بینی انقباض ۳۴
- شکل ۲-۲۷: ویژگیهای ممکن در قطعه ۳۸
- شکل ۳-۱: مدل نرون تک ورودی ۴۳
- شکل ۳-۲: مدل چند ورودی یک نرون ۴۳
- شکل ۳-۳: شبکه تک لایه (الف): شبکه تک لایه با ۸ نرون ب: فرم فشرده یا ماتریس شبکه تک لایه با ۸ نرون) ۴۵
- شکل ۳-۴: شبکه پیشخور دو لایه ۴۶
- شکل ۳-۵: بلوک تأخیر زمانی ۴۶
- شکل ۳-۶: مدل نمونه برای شبکه پسخور ۴۶
- شکل ۴-۱: طرح شمانیک فرآیند ۵۷
- شکل ۴-۲: تابع زبان درجه دو ۶۵
- شکل ۴-۳: یک نگاه ساده (---) و یک نگاه واقع بینانه (---) بر روی کیفیت ۶۶
- شکل ۵-۱: آنالیز انقباض در تحقیق Lotti ۷۴
- شکل ۵-۲: مقایسه میان طرح اولیه و طرح بهینه ۷۵
- شکل ۵-۳: قطعه شبیه‌سازی شده توسط Shen Changyu ۷۵
- شکل ۵-۴: الگوریتم بکار گرفته شده توسط Carlos Castro ۷۶
- شکل ۵-۵: قطعه شبیه‌سازی شده توسط Carlos Castro ۷۶
- شکل ۶-۵: توزیع فیبر Glass با تغییر مکان دریچه (a) تزریق از گره (N7459, b) تزریق از مکان بهینه دریچه N7379. ۷۷
- شکل ۷-۵: اندازه‌گیری میزان انقباض در دو بعد ۷۸
- شکل ۱-۶: قطعه شبیه‌سازی شده ۸۰
- شکل ۲-۶: آنالیز مکان بهینه تزریق برای قطعه مورد نظر ۸۳
- شکل ۳-۶: محدوده‌ی در نظر گرفته شده برای دریچه تزریق ۸۴
- شکل ۴-۶: نمودار مربوط به خروجی شبکه و خروجی مطلوب میزان انقباض (تست ۱) ۸۸
- شکل ۵-۶: نمودار مربوط به خروجی شبکه و خروجی مطلوب میزان انقباض (تست ۲) ۸۹
- شکل ۶-۶: نمودار مربوط به خروجی شبکه و خروجی مطلوب میزان انقباض (ساختار برگزیده) ۸۹
- شکل ۷-۶: طرح شمانیک شبکه عصبی طراحی شده برای شبیه‌سازی میزان انقباض ۹۰
- شکل ۸-۶: نمودار مربوط به خروجی شبکه و خروجی مطلوب میزان فشار درون قالب (تست ۱) ۹۰
- شکل ۹-۶: نمودار مربوط به خروجی شبکه و خروجی مطلوب میزان فشار درون قالب (ساختار برگزیده) ۹۱
- شکل ۱۰-۶: طرح شمانیک از شبکه عصبی طراحی شده برای شبیه‌سازی فشار درون قالب ۹۱
- شکل ۱۱-۶: نمودار نرخ سیگنال به اغتشاش با هدف کاهش انقباض بر اساس نتایج Moldflow ۹۳
- شکل ۱۲-۶: نمودار نرخ S/N با هدف کاهش انقباض بر اساس نتایج ANN ۹۴
- شکل ۱۳-۶: نمودار نرخ S/N با هدف کاهش فشار ۹۵
- شکل ۱۴-۶: نمودار نرخ S/N با هدف کاهش فشار بر اساس نتایج شبکه عصبی ۹۶
- شکل ۱۵-۶: مکان بهینه معرفی شده توسط Moldflow ۹۷

فهرست جداول

۱۲	جدول ۱-۲: تحول صنعت قالبگیری تزریقی
۱۹	جدول ۲-۲: مواردی که بر گلوئی تزریق اثر دارند
۴۴	جدول ۱-۳: انواع رایج توابع محرک با علائم
۵۹	جدول ۱-۴: متغیرهای تصادفی برای سطوح یک عامل
۶۲	جدول ۲-۴: نمونه‌ی جدول تجزیه و تحلیل واریانس
۶۷	جدول ۳-۴: سه مرحله توسعه محصول و احتمالات اقدامات متقابل در برابر انواع اغتشاشات
۷۰	جدول ۴-۴: مثال‌هایی از اغتشاش و فاکتورهای کنترل
۸۱	جدول ۱-۶: خواص فیزیکی ABS-750
۸۴	جدول ۲-۶: سطوح در نظر گرفته شده برای پارامترها
۸۴	جدول ۳-۶: نتایج حاصل برای میزان انقباض حجمی و ماکزیم فشار درون قالب در شرایط متفاوت آزمایش
۸۶	جدول ۴-۶: آنالیز واریانس بر روی نتایج میزان انقباض
۸۷	جدول ۵-۶: آنالیز واریانس بر روی نتایج میزان فشار درون قالب
۸۹	جدول ۶-۶: نتایج آزمایشات با تغییر تعداد ترون‌های لایه میانی برای انقباض
۹۱	جدول ۷-۶: نتایج آزمایشات با تغییر تعداد ترون‌های لایه میانی برای فشار درون قالب
۹۲	جدول ۸-۶: نرخ سیگنال به اغتشاش برای سطوح مختلف پارامترها با هدف کاهش انقباض بر اساس نتایج Moldflow
۹۳	جدول ۹-۶: مقادیر بهینه برای حداقل انقباض بر اساس نتایج Moldflow
۹۳	جدول ۱۰-۶: نرخ S/N بر اساس نتایج ANN با هدف کاهش انقباض
۹۴	جدول ۱۱-۶: مقادیر بهینه برای حداقل انقباض بر اساس نتایج ANN
۹۴	جدول ۱۲-۶: نرخ S/N برای سطوح مختلف پارامترها
۹۵	جدول ۱۳-۶: مقادیر بهینه حداقل فشار داخل قالب
۹۵	جدول ۱۴-۶: نرخ S/N با هدف کاهش فشار بر اساس نتایج شبکه عصبی
۹۶	جدول ۱۵-۶: مقادیر بهینه برای حداقل فشار داخل قالب بر اساس نتایج ANN
۹۶	جدول ۱۶-۶: پیش‌بینی مقادیر انقباض و فشار برای آرایش‌های بهینه‌ی برگزیده برای انجام تزریق
۹۷	جدول ۱۷-۶: مقادیر بهینه حاصل از آنالیز best gate location در نرم‌افزار MPI

فصل اول

پلاستیک‌ها و روش‌های فرآیند نمودن آنها

۱-۱ مقدمه:

مواد پلاستیکی، نقش مهمی را در توسعه تمدن جدید امروزی ایفا نموده‌اند. این نوع از پلیمرها دامنه گسترده‌ای از خواص و خودکارسازی یا اتوماسیون فرآیند را در پی داشته‌اند و این در حالی است که مزایای مالی متعددی را به لحاظ قیمت و هزینه، با خود به همراه آورده‌اند. اما تمام این مزیتها در حین تولید در صورتی بدست خواهند آمد که شناخت کافی نسبت به مواد و فرآیندهای بکارگرفته شده داشته باشیم. در این فصل به معرفی انواع پلاستیک‌ها و بیان چگونگی رفتار آنها پرداخته و معیارهایی جهت انتخاب جنس قطعه تولیدی معرفی می‌گردد. در ادامه، اصول روش‌های فرآیند کردن پلاستیک‌ها بررسی می‌گردد.

۲-۱ مواد پلیمری

پلیمرها مواد مصنوعی بلندی هستند که از اتصال هزاران واحد کوچک مولکولی موسوم به مونمر تشکیل شده‌اند. روش اتصال مولکولها به یکدیگر را پلیمره‌شدن می‌نامند و تعداد این واحدهای کوچک مولکولی در زنجیر دراز به درجه‌ی پلیمره‌شدن موسوم می‌باشد.

غالباً پلیمرها و پلاستیک‌ها، هنگام کاربرد مترادف فرض می‌شوند، در حالی که متفاوت از یکدیگرند. پلیمر ماده‌ی خالصی است که از واکنش پلیمره‌شدن حاصل شده و به ندرت به صورت خالص مصرف می‌شود و با افزودن مواد دیگری به آن، اصطلاحاً پلاستیک نامیده می‌شود.

به طور کلی پلیمرها به پنج دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱. پلاستیک‌ها، ۲. لاستیک‌ها، ۳. رشته‌های مصنوعی،

۴. پرداخت کننده‌های سطحی، ۵. چسب‌ها.

در ادامه تنها به توضیح پلاستیک‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۱ پلاستیک‌ها [۱]

مواد پلیمری پلاستیکی نتیجه ترکیب اتم‌های کربن واکنش‌دهنده با اکسیژن، نیتروژن و عناصر آلی و معدنی دیگر می‌باشند. این نوع از پلیمرها تحت تأثیر حرارت و فشار می‌توانند به شکل‌های مختلفی درآیند و به صورت یک مایع یا ماده مذاب^۱ تغییر حالت بدهند.

^۱ melt

پلاستیک‌ها فقط نوع واحدی از ماده نیستند بلکه خانواده‌ای از مواد می‌باشند. پلاستیک‌ها شامل تعداد زیادی از پلیمرها و ترکیبات متعدد می‌باشند، به طوری که هر ماده در هر گروه، خواص فیزیکی- مکانیکی خاص خود را دارد. بیشتر پلاستیک‌ها به یکی از گروه‌های زیر تعلق دارند:

۱) ترموپلاستیک‌ها (TPs)، ۲) الاستومرهای ترموپلاستیک (TPEs)،

۳) الاستومرهای قالبگیری تزریقی مایع (LIMs)، ۴) ترموستها،

۵) لاستیک‌های ترموست (Thermoset rubbers).

پلیمرهای ترموپلاستیک شامل زنجیر طولی از مولکول‌های خطی یا شاخه‌دار می‌باشند که دارای زنجیرهای جانبی یا گروه‌های متصل نشده و جدایی از مولکول‌ها می‌باشند. معمولاً شکل‌های تجاری مواد ترموپلاستیک عبارتند از: قرص‌ها^۱، گرانول‌ها^۲ یا پودرها. این مواد را می‌توان بطور تکرارپذیری تحت تأثیر فشار و گرما ذوب کرد تا اینکه شکل‌پذیر شوند و سپس در مرحله بعد آنها را شکل داد. در ادامه عملیات، آنها سرد می‌شوند و به شکل مطلوب نهایی درآمده، سخت می‌شوند. در حین فرآیند تبدیل، تغییرات شیمیایی بوقوع نمی‌پیوندد.

رزین‌های الاستومری ترموپلاستیک مواد لاستیکی با ویژگی‌های یک ماده گرماترم و خواص کاری یک لاستیک گرماسخت می‌باشند. TPE ها با استفاده از روش‌ها و تجهیزات مخصوص فرآیند نمودن مواد ترموپلاستیک، فرآیند می‌شوند، همانند: اکستروژن، قالبگیری تزریقی و قالبگیری بادی.

ترکیبات حاصل از قالبگیری تزریقی مایع، خانواده‌ای بی‌نظیر و منحصر بفرد از محصولات پلیمری می‌باشند. معمولاً در تهیه این دسته از پلاستیک‌ها، از دو فرمولاسیون مایع به نسبت ۱:۱ استفاده می‌شود. این ترکیبات به طرز مؤثری، قطعات الاستومری قالبگیری شده‌ی دقیقی تولید می‌کنند.

پلیمرهای ترموست، بخش فعالی را در حین فرآیند پلیمریزاسیون، میان اتصال عرضی زنجیر^۳ و شبکه مولکول طولی پدید می‌آورند. زنجیرهای پلیمری خطی به یکدیگر متصل می‌شوند تا یک شبکه سه بعدی را پدید آورند. بنابراین، وقتی که پلیمریزه یا سخت می‌شوند، دیگر امکان نرم‌سازی آنها از طریق حرارت دادن نیست مگر اینکه اتصالات عرضی تشکیل شده را بتوان بنحوی از هم گسست. پلیمرهای گرماسخت در شکل تجاری را می‌توان بصورت‌های گوناگون ذخیره و بسته‌بندی کرد، مثلاً بصورت رزین‌ها، پودرهای مخلوط‌های متومری مایع و یا بصورت کامپاندها و آمیزه‌های قالبگیری شده که به طور جزئی پلیمریزه شده‌اند. در چنین شرایط پخته‌ای^۴، این آمیزه‌ها تحت تأثیر فشار یا بدون اعمال فشار به شکل نهایی خود تبدیل می‌شوند و آنها را می‌توان با مواد شیمیایی یا گرما پلیمریزه کرد. پلیمرهای ترموست قابل فرآیند نمودن دوباره یا قابل بازیافت نیستند.

¹ pellets

² granules

³ The chain cross-link

⁴ uncured condition

بنا به موارد مصرف زیاد ترموپلاستیک‌ها و از آنجا که ماده مورد استفاده در این تحقیق، در این گروه از پلاستیک‌ها قرار دارد، لذا در ادامه تنها به تشریح ترموپلاستیک‌ها می‌پردازیم.

۱-۳-۱ طبقه‌بندی ترموپلاستیک‌ها بر مبنای کارایی و شرایط کاری آنها در عمل

الف: نخستین گروه، رزین‌های تجاری^۱ می‌باشند که ویژگیهای زیر را دارند:

۱- حجم مصرف بالایی دارند،

۲- کاربردهای گسترده‌ای در شکل نهایی خود دارند،

۳- قیمت مواد اولیه آنها پایین است،

۴- کارایی خواص محدودی دارند بدین معنی که در حین کار و در هر شرایط کاری خواص محدودی دارند. این

طبقه شامل مواد زیر می‌باشد، پلی‌استایرین (PS)، پلی‌اتیلن (PE)، کوپلیمر یا همبسیار استایرین-اکریلونیتریل -

(SAN)، سلولزنیتریل (CN)، پلی‌بوتن (PB)، بیس‌مالئیمید (PMI)، پلی‌استرهای اشباع نشده (UP) و پلی‌ویتیل -

کلراید (PVC).

ب: گروه دوم به عنوان رزین‌های حدواسط^۲ شناخته شده‌اند. رزین‌های این گروه عموماً خواص مکانیکی، حرارتی،

شیمیایی و الکتریکی دارند که نسبت به رزین‌های گروه نخست بالاتر است. وقتی که اصلاحات شیمیایی بر روی

آمیزه انجام می‌شود تا خواص مکانیکی ویژه‌ای تغییر یابد، خواص بستر یا زمینه‌ی پایه ثابت باقی می‌ماند. این طبقه

شامل مواد زیر می‌باشد. اکریلیکها (Acrylics)، اولفین‌ترموپلاستیک (TPO)، پلی‌فنیلن اکساید (PPO)،

ترموپلاستیک‌های ولکانیزه (TPV)، لاستیک قابل فرآیند مذاب (MPR)، پلی‌استایرین با مقاومت در برابر ضربه بالا

(HIPS)، یونومرها، ملامین فرمالدئید (MF)، پلی‌زایلین، پلی‌پروپیلین (PP)، اکریلونیتریل-بوتادی‌ان-استایرین

(ABS)، استایرین-اکریلونیتریل (SAN)، پلی‌فنیل اتر (PPE)، پلی‌اوره‌تان (PUR)، هیبریدیورتان، پلی‌استرآلکید-

(PAK)، پلی‌اتیلن با وزن مولکولی بالا (UHMWPE).

پ: سومین گروه، رزین‌های مهندسی می‌باشند. سطح خواص مکانیکی که نوع مهندسی رزین^۳ را تعیین می‌کند تا

حدودی اختیاری است: استحکام کششی آنها نباید از ۷۰۰۰ psi پایین‌تر باشد و حداقل مدول الاستیسیته باید ۳۵۰۰۰۰

باشد. این دو کمیت معیارهای مناسب و منطقی بدین منظور می‌باشند. رزین‌های مهندسی به لحاظ بنیادی،

رزین‌های اصلاح نشده‌ای هستند که خواص آنها از طریق آمیزه‌سازی^۴ بهبود یافته است.

یک رزین آمیزه‌سازی شده به عنوان ماده‌ای تعریف می‌شود که از اجزای زیر تشکیل شده است:

۱- یک بستر پایه یا زمینه که همان ماتریس (رزین پایه) می‌باشد،

^۱ The commodity resins

^۲ Intermediate resins

^۳ engineering grade

^۴ compounding

۲- افزودنی‌ها،

۳- یک جزء تقویت‌کننده همانند لیف شیشه یا مواد معدنی،

۴- پایدارکننده‌های گرمایی و فرابنفش^۱،

۵- به تأخیر اندازنده‌های شعله^۲ و سایر افزودنی‌ها...

چندین نوع از رزین‌های آمیزه‌سازی شده برای بهبود خواص ویژه لازم برای هر کاربردی، فرموله شده‌اند. رزین‌های مهندسی عبارتند از: استال، پلی‌آمید (نایلون، PA)، پلی‌کربنات (PC)، پلی‌بیوتیلین ترفتالات (PBT)، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، پلی‌پروپیلن تقویت شده با لیف شیشه‌ای، اپوکسی (EP) و سیانات.

ت: چهارمین گروه از پلاستیک‌ها عبارتست از رزین‌های مهندسی با کارایی بالا، رزین‌ها در این طبقه بالاترین مقاومت را دارند که مسئول حفظ درصد بالایی از خواص مکانیکی مفید آنها در دماهای بالا می‌باشد که طول عمر کاری محصول را بیشتر می‌کند، آنها همچنین خواص خود در فرکانس‌های الکتریکی بالاتر را وقتی که در معرض تماس با عناصر خوردنده قرار می‌گیرند، بدون از دست دادن خواص مقاومت شیمیایی‌شان، حفظ می‌کنند. این نوع از رزین‌ها، همچنین بطور ذاتی شعله را بتأخیر می‌اندازند بطوری که با افزودنی UL-94، میزان تغییرات رده‌بندی‌های قابلیت اشتعال در فاصله‌ی ۰V تا ۵V (0-5 volt) تغییر می‌کند.

رزین‌های مهندسی با کارایی بالا شامل نایلون دما بالا (HTN)، پلیمرهای بلور مایع (LCP)، پلی‌سولفون (PSU)، فلئوروپلیمرها، پلی‌اترایمید (PEI)، پلی‌آریل‌انزکتون (PAEK)، پلی‌فنیل‌سولفاید، سیلیکون و پلی‌ایمید (PI) می‌باشد.

۱-۴ نحوه‌ی انتخاب پلاستیک‌ها:

رقابت میان تولیدکنندگان رزین برای تسخیر بازار، منبع بزرگی از رزین‌های مهندسی را مشتمل بر هزاران نوع تجاری از رزین^۳، پدید آورده است. نتیجه آن است که برای پیدا کردن شرایط کاری محصول نهایی، بیش از یک انتخاب و غالباً چند گزینه‌ی قابل دسترس وجود دارد.

ارزیابی کلی انواع تجاری گوناگون از مواد پلیمری، شامل طراحی محصول و ملاحظات مربوط به فرآیند نمودن آنها می‌باشد. برای انتخاب بهترین ماده برای یک کاربرد خاص، خواص و ویژگی‌های فرآیندی متفاوت از چندین رزین ترموپلاستیک که با شرایط کاری در کاربرد نهایی، جور در می‌آیند و مطابقت می‌کنند، با هم مقایسه می‌شوند.

مهمترین پارامترهایی که باید در بسیاری از کارهای طراحی مهندسی در نظر داشت عبارتند از: [۲]

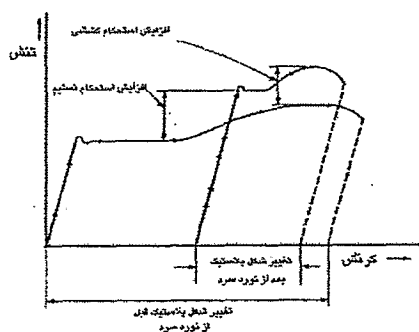
الف: خواص مکانیکی:

^۱ heat and uv stabilizers

^۲ flame retardants

^۳ Resin grades

• استحکام و سفتی: اگر ماده‌ی گرمانرمی تحت تنش قرار گیرد، رفتار سیال گرانونا و تغییر مکان الاستیک را به نمایش می‌گذارد. خواص مواد ویسکوالاستیک تابع درجه حرارت، زمان و آهنگ کرنش است. منحنی تنش-کرنش از هر نظر مشابه منحنی برای فلزات است. در کرنش‌های اندک، حالت الاستیک و در کرنش‌های زیاد رابطه غیرخطی بین تنش-کرنش برقرار بوده، کرنش به صورت دائمی در می‌آید. در شکل (۱-۱) نمودار تنش کرنش نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: نمودار تنش - کرنش

• چکش خواری: قطعه‌ای که تحت بار قرار می‌گیرد، نباید برای مدت طولانی تحت تنش باقی بماند زیرا دچار آسیب دیدگی شده و بر اثر پارگی و شکست از رده خارج خواهد شد. طبیعت ذاتی پلاستیک‌ها معمولاً مدول زیاد، توأم با قدرت چکش خواری کم را ایجاد می‌کند و هرگونه تلاش برای بهبود یکی، نقصان دیگری را موجب می‌شود.

• گسیختگی ناشی از خزش: اگر پلاستیک تحت تنش کششی ثابتی قرار گیرد، کرنش در آن افزایش می‌یابد. تا اینکه به نقطه‌ای می‌رسیم که ماده از هم گسیخته شده، می‌شکند. این پدیده را گسیختگی ناشی از خزش یا خستگی ایستا می‌نامند.

معمولاً تصور می‌شود که پلاستیک‌ها همانند فلزات، اگر بار ساکنی را برای مدت کوتاه تحمل کنند می‌توان به آنها اطمینان کرد. در حالی که در مورد پلاستیک‌ها همواره باید نتایج آزمایش‌های بلند مدت را برای طراحی به کاربرد. به ویژه اینکه بعضی از پلاستیک‌ها که در کوتاه مدت چقرمه به نظر می‌رسند در بلند مدت ترد و شکننده می‌شوند.

ب: تخریب و تجزیه‌ی مولکولی

• آسیب دیدگی از ناحیه‌ی مواد شیمیایی و فیزیکی: تخریب و تجزیه‌ی مولکولی پلاستیک به علت در هم ریختگی ساختمان شیمیایی آن روی می‌دهد. این در هم ریختگی ضرورتاً در مجاورت حلال‌ها یا اسیدهای قوی و غلیظ صورت نمی‌گیرد، بلکه حتی در محیط‌های بی‌ضرری مانند آب یا در مجاورت اکسیژن نیز رخ می‌دهد.

تخریب و تجزیه‌ی مولکولی پلاستیک‌ها معمولاً در اثر حرارت، تنش، تشعشع روی می‌دهد. در خلال عملیات قالب‌گیری، مواد معمولاً تحت تأثیر حرارت و تنش قرار دارند، به همین دلیل به آنها مواد پایدار کننده و ضد

اکسایش اضافه می‌کنند تا خواص خود را در حین عملیات از دست ندهند. توجه به رفتار عمومی پلاستیک‌ها نشان می‌دهد که پلاستیک‌های بلوری مقاومت بهتری نسبت به پلاستیک‌های بی‌نظم در برابر شرایط محیطی از خود نشان می‌دهد.

• اثر شرایط جوی: این اثر معمولاً به هنگام جذب توأمان رطوبت و اشعه‌ی ماوراءبنفش دیده می‌شود. جذب رطوبت باعث نرم شدن پلاستیک شده، انعطاف‌پذیری آن را افزایش می‌دهد، اما در نهایت با حذف آب، پلاستیک دوباره به صورت شکننده در می‌آید و همچنین باعث از دست دادن رنگ و شفافیت آن می‌شود. گرمانرم‌ها از این جهت آسیب‌پذیرند.

• اکسایش: اکسایش پلاستیک‌ها در اثر تماس با اسیدهای اکساینده، قرار گرفتن در معرض تشعشعات UV و یا کاربرد طولانی در دمای زیاد رخ داده، موجب نقصان در خواص مکانیکی، افزایش ضریب توان و یا از بین رفتن شفافیت می‌شود.

پ: مقاومت سایشی و خواص اصطکاکی

امروزه پلاستیک‌ها کاربرد فراوانی در ساخت یاتاقان‌ها و محصولات پی‌دا کرده‌اند که تماس از نوع لغزشی بین دو قطعه برقرار است مانند چرخ‌دنده‌ها، حلقه‌های پیستون، واشرهای آب‌بندی و دندانه‌ها که مزایای آن عبارتند از: آهنگ سایش کم در عدم حضور مواد چرب‌کننده‌ی رایج، ضریب اصطکاک کم، قابلیت جذب شوک و لرزش، قابلیت کار کردن با صدای کم و اتلاف نیروی اندک، همچنین اگر از الیاف استحکام‌دهنده همراه با پلاستیک استفاده شود، قابلیت تحمل بار و استحکام بیشتری از خود نشان می‌دهد.

ت: خواص اختصاصی

• خواص حرارتی: در پلاستیک‌ها درجه حرارت خاصی به نام دمای شیشه‌ای شدن (T_g) وجود دارد که زیر این دما ماده مانند شیشه سخت و صلب به نظر می‌رسد. مقدار (T_g) برای هر پلاستیک خاص الزاماً درجه حرارت پایینی نیست. به عنوان مثال در دمای اتاق، پلی‌استایرن و اکریلیک زیر دمای (T_g) خود هستند و لذا حالتی شیشه‌ای دارند اما پلی‌اتیلن که در دمای اتاق بالای دمای (T_g) خود بوده، بسیار انعطاف‌پذیر می‌باشد. همچنین در مقایسه با سایر مواد، پلاستیک‌ها هدایت حرارتی بسیار اندکی دارند، به ویژه اگر به صورت اسفنجی باشند.

• خواص الکتریکی: پلاستیک‌ها از گذشته به عنوان مواد نارسانا در عایق‌بندی‌های الکتریکی به کار رفته‌اند. PTFE و پلی‌اتیلن در بین پلاستیک‌ها خواص نارسانایی بهتری نشان می‌دهند. البته، امکان شکستن خاصیت نارسانایی هر عایق در میدان قوی الکتریکی وجود دارد. خواصی که مستقیماً مربوط به نارسانایی الکتریکی می‌شوند عبارتند از: استقامت عایقی، مقاومت و ردیابی.

استقامت عایقی عبارت است از مقاومت الکتریکی (V/m) قابل تحمل ماده نارسانا، برای پلاستیک‌ها استقامت عایقی در محدوده‌ی $1-100\text{ mV/m}$ تغییر می‌کند.

ردیابی پدیده‌ای است که در اثر آن مسیری رسانا موسوم به قوس، در سطح پلیمر به وجود می‌آید. این پدیده ممکن است در اثر آلودگی سطح به وجود آید. پیدایش سطح کربنی عامل انتقال قوس می‌باشد.

- خواص نوری: مهمترین خواص نوری پلاستیک عبارتند از: انکسار نور، شفافیت، درخشندگی و عبور نور.
 - قدرت شعله‌وری و اشتعال: رایج‌ترین واژه برای بیان مشخصه شعله‌وری پلاستیک‌ها، شاخص بحرانی اکسیژن (COI) می‌باشد که عبارت است از حداقل غلظت اکسیژن بر حسب درصد حجمی در مخلوط اکسیژن و نیتروژن که احتراق را در شرایط آزمایش پایدار نگاه می‌دارد.
- چون هوا ۲۱٪ اکسیژن دارند، پلاستیک‌هایی که شاخص بالاتر از ۲۱٪ داشته باشند به پلاستیک‌های خود اطفاء موسوم‌اند. اما در عمل مقدار بالاتری نظیر ۲۷٪ در نظر گرفته می‌شود تا از هرگونه عامل پیش‌بینی نشده در ایجاد آتش‌سوزی جلوگیری شود.

- نفوذپذیری: پلاستیک‌های با چگالی کم مزایای بسیاری دارند، اما تراکم نسبتاً کم مولکول‌ها باعث می‌شود که گازها و مایعات از آنها عبور کنند. این مطلب در بسیاری از کاربردها مانند بسته‌بندی یا محفظه‌های سوخت حائز اهمیت است.

ث: شکل دهی :

یکی از نکات کلیدی پلاستیک‌ها انتخاب روش شکل‌دهی است. طراح باید دانش عمیقی از روش‌های رایج شکل‌دهی پلاستیک‌ها داشته باشد زیرا پلاستیک‌ها، دست طراح را برای انتخاب بهترین و مناسبترین روش تا حد زیادی باز گذاشته‌اند.

۱-۵ روش‌های رایج شکل‌دهی پلاستیک‌ها [۲]

یکی از مهمترین ویژگی‌های پلاستیک‌ها، سهولت شکل‌پذیری آنهاست. در بسیاری مواقع، قطعه‌ی نهایی علی‌رغم برخورداری از شکلی کاملاً پیچیده طی یک مرحله تولید می‌شود. عملیات حرارت دادن، شکل‌دادن و خنک‌کردن (مانند تولید لوله به روش اکستروژن) به دنبال یکدیگر و بدون وقفه انجام می‌پذیرد و یا ممکن است طی مراحل ناپیوسته، زمان‌گیر و یا تکرارشونده (مثل عملیات تولید تلفن به روش قالبگیری تزریقی) صورت پذیرد. در اکثر موارد فرآیند به طور خودکار انجام می‌شود که برای تولید انبوه بسیار مناسب است.

در بسیاری از حالات انتخاب روش مناسب شکل‌دهی، به چگونگی شکل‌دهی قطعه و گرم‌انرم یا گرم‌سخت بودن ماده بستگی دارد.