

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
السلامة

١٤٧٢



بررسی عددی و تجربی توزیع ضخامت در

فرم‌دهی پلیمر اکریلیک

احسان امیری

۸۵۱۰۰۱۰۰۱

دانشکده فنی - گروه مکانیک

زمستان ۱۳۸۸

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - ساخت و تولید

اساتید راهنما:

دکتر علی دنیوی

دکتر طاهر از دست

مقر اطلاعات مذکور علمی بزرگ
تسبیح مذکور

۱۳۸۹/۴/۸
۷/۸/۶۷۸۱

۱۳۸۷۳۰

مورد پذیرش هیات محترم

به تاریخ ۱۹/۱۱/۸۸ شماره

پایان نامه

قرار گرفت.

۱۸۶۷

و نمره

داوران با رتبه عالی

هیئت داوران

استاد راهنما و رئیس هیات داوران:
استاد مشاور:
داور خارجی:
داور داخلی:
نماینده تحصیلات تکمیلی:

۱- استاد راهنما و رئیس هیات داوران:

۲- استاد مشاور:

۳- داور خارجی:

۴- داور داخلی:

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی:

دکتر مصطفی زاده
دکتر مصطفی زاده
دکتر مصطفی زاده
دکتر مصطفی زاده
دکتر مصطفی زاده

حق تالیف و نشر مطالب این پایان نامه
در انحصار دانشگاه ارومیه می باشد.

تقدیم به

دو گوهر آسمانی زندگی ام

پدر عزیز و مادر مهربانم

تقدیر و تشکر

امروز که به مدد الهی آخرین روزهای تحصیل را می‌گذرانم، شایسته است به مصداق "من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق" از تمامی عزیزانی که در این این مسیر خطیر یاریم نموده‌اند، سپاس-گزاری نمایم. در این میان نقش اساتید راهنمایم بسیار بی‌بدلیل و تاثیرگذار بوده‌است. لذا سزاوار است تشکر بی‌شمار نمایم از آقای دکتر دنیوی که در طول تحصیل و در مقاطع بحرانی از هر گونه کمکی دریغ نورزیده و همواره راهنمایم بودند. همچنین از آقای دکتر ازدست سپاس‌گزاری می‌نمایم که در طول پروژه و در تعیین مسیر تحقیق، راهنمایی‌های بی‌نظیرشان روشنگر راه بود. همچنین تشکر ویژه نمایم از آقایان دکتر سلیمان‌پور و دکتر رش‌احمدی و دکتر نوری‌نیا که قبول زحمت نموده و داوری این پروژه را برعهده گرفتند، و به رسم احترام یاد و خاطره استاد وارسته فقید، جناب آقای دکتر ثابت را گرامی داشته و برای ایشان علو درجات را آرزو می‌نمایم.

فهرست مطالب

۱۳	چکیده
۱۴	مقدمه
۱۵	فصل اول: اکریلیک و کاربردهای آن
۱۵	۱-۱ مواد پلیمری
۱۵	۱-۱-۱ پلیمرهای کریستالی و آمورف
۱۷	۱-۱-۲ مواد گرمانرم و گرماسخت
۱۸	۲-۱ معرفی اکریلیک
۱۹	۲-۱-۱ خانواده اکریلیک
۲۱	۲-۲-۱ ویژگیهای اکریلیک
۲۶	۳-۲-۱ کاربردهای اکریلیک
۲۹	فصل دوم: ترموفرمینگ و تئوری هایپرالاستیسیت
۲۹	۱-۲ ترموفرمینگ
۳۰	۲-۲ روشهای ترموفرمینگ
۳۰	۲-۲-۱ فرمدهی آزاد
۳۵	۲-۲-۲ فرمدهی با قالب مادگی
۳۶	۳-۲-۲ فرم دهی به روش Drape Forming
۳۷	۴-۲-۲ فرم دهی به روش Plug Assistance
۳۸	۳-۲ روشهای اندازه گیری محصولات ترموفرمینگ
۳۸	۱-۳-۲ کولیس و میکرومتر
۳۸	۲-۳-۲ دستگاههای CMM, Digitizer
۳۹	۳-۳-۲ دستگاه Optical Digitizer
۴۲	۴-۳-۲ دستگاه Projector Profile
۴۴	۴-۲ مواد هایپرالاستیک
۴۵	۱-۴-۲ مروری بر تئوری های هایپرالاستیک
۴۸	۲-۴-۲ ویژگیهای یک تابع انرژی کرنشی مناسب

۴۸	.....Mooney –Rivlin تئوری ۳-۴-۲
۵۲	..... فصل سوم: پیشینه پژوهش
۵۲	..... ۱-۳ تحقیق سال ۱۹۹۸ در انستیتو مواد صنعتی کانادا
۵۴	..... ۲-۳ تحقیق سال ۱۹۹۹ در دانشگاه UTC فرانسه
۵۶	..... ۳-۳ تحقیق سال ۲۰۰۲ در مرکز مؤسسه مواد صنعتی کانادا
۵۸	..... ۴-۳ تحقیق سال ۲۰۰۵ در دانشگاه اکلند در نیوزلند
۶۱	..... ۵-۳ هدف از پژوهش حاضر
۶۲	..... فصل چهارم: تولید حباب کروی نتایج تئوری و آزمایشگاهی
۶۲	..... ۱-۴ مقدمه
۶۳	..... ۲-۴ تولید حباب به روش فرم دهی آزاد
۶۳	..... ۱-۲-۴ ساخت تجهیزات مورد نیاز
۶۴	..... ۲-۲-۴ نحوه انجام آزمایش
۶۷	..... ۳-۴ تحلیل نرم افزاری فرم دهی آزاد
۶۷	..... ۱-۳-۴ مدل کردن قطعات
۶۸	..... ۲-۳-۴ اعمال قیود شرایط مرزی
۶۹	..... ۳-۳-۴ اعمال بار:
۶۹	..... ۴-۳-۴ مشبندی
۶۹	..... ۴-۳-۴ فرمدهی
۷۵	..... ۴-۴ فرم دهی ترکیبی
۷۶	..... ۱-۴-۴ فرم دهی آزاد ۷۵٪ ارتفاع-استفاده از پلاگ ۲۵٪ ارتفاع
۷۸	..... ۲-۴-۴ فرم دهی آزاد ۵۰٪ ارتفاع-استفاده از پلاگ ۵۰٪ ارتفاع
۷۹	..... ۳-۴-۴ فرم دهی آزاد ۲۵٪ ارتفاع-استفاده از پلاگ ۷۵٪ ارتفاع
۸۲	..... ۴-۴-۴ فرم دهی آزاد ۰٪ ارتفاع-استفاده از پلاگ ۱۰۰٪ ارتفاع
۸۶	..... فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات
۸۶	..... ۱-۵ نتایج

۸۸ ۱-۵ پیشنهادت ادامه کار

۸۹ مراجع

فهرست جداول

۱۶	جدول ۱-۱ برخی پلیمرهای آمورف و کریستالی.....
۲۴	جدول ۲-۱ مقایسه برخی ویژگی های اکریلیک با سایر مواد شفاف.....
۲۹	جدول ۱-۲ ویژگی ها و کاستی های ترموفرمینگ در مقایسه با سایر روش های تولید پلیمرها.....
۴۱	جدول ۲-۲ مشخصات دوربین Tritop.....
۴۶	جدول ۳-۲ مقایسه تئوری های هایپراالاستیک.....
۵۳	جدول ۱-۳ ضرائب تئوری مونی-ریولین در دمای ۱۴۳ درجه سانتی گراد.....
۵۳	جدول ۲-۳ حداقل دمای فرم دهی ABS.....
۵۹	جدول ۳-۳ ضرائب تئوری مونی-ریولین برای اکریلیک از دمای ۱۵۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی گراد.....
۷۲	جدول ۱-۴ خروجی نرم افزار ABAQUS و ابرنقاط قطعه فرم گرفته.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ مقایسه مقاومت به ضربه اکریلیک با شیشه تمپر شده و پلی کربنات..... ۲۴
- شکل ۲-۱ مقایسه سختی اکریلیک با برخی پلیمرها و شیشه..... ۲۵
- شکل ۳-۱ مقایسه میزان عبور نور اکریلیک با برخی پلیمرها و شیشه..... ۲۵
- شکل ۴-۱ آکواریوم نمایش کوسه از جنس اکریلیک..... ۲۶
- شکل ۵-۱ پوشش سقف ورزشگاه المپیک مونیخ با ورق اکریلیک..... ۲۷
- شکل ۶-۱ کاور دوربین مدار بسته از جنس اکریلیک..... ۲۷
- شکل ۷-۱ کاور دوربین مدار بسته از جنس اکریلیک..... ۲۸
- شکل ۱-۲ شکل شماتیک فرم دهی آزاد با استفاده از فشار هوا..... ۳۰
- شکل ۲-۲ شکل شماتیک فرم دهی آزاد با استفاده خلاء..... ۳۰
- شکل ۳-۲ شکل شماتیک تجهیزات مورد نیاز برای ایجاد خلاء..... ۳۱
- شکل ۴-۲ کانتور حلقه فرم دهی تعیین کننده شکل نهایی قطعات تولید شده به روش فرم دهی آزاد..... ۳۲
- شکل ۵-۲ اعوجاج و انحراف اپتیکی در مشاهده یک صفحه مدرج..... ۳۴
- شکل ۶-۲ فرم دهی با قالب مادگی..... ۳۵
- شکل ۷-۲ فرم دهی به روش *Drape Forming*..... ۳۶
- شکل ۸-۲ فرم دهی به کمک پلاگ..... ۳۷
- شکل ۹-۲ اسکن اولیه قطعات به کمک دوربین *Tritop*..... ۴۱
- شکل ۱۰-۲ دوربین *ATOS*..... ۴۱
- شکل ۱۱-۲ نحوه اسکن دوربین *ATOS*..... ۴۲
- شکل ۱۲-۲ نمونه‌ای از فایل خروجی دستگاه اسکن اپتیکی به فرمت *G3D*..... ۴۲
- شکل ۱۳-۲ دستگاه *Projector Profile*..... ۴۳
- شکل ۱۴-۲ صفحه نمایشگر دستگاه *Projector Profile*..... ۴۴
- شکل ۱۵-۲ نمودار عمومی تنش-کرنش مواد هایپرالاستیک..... ۴۵

۵۲	..... شکل ۳-۱ قالب‌های مادگی مورد استفاده در تحقیق آقای Laroche
۵۳	..... شکل ۳-۲ مراحل شکل‌گیری قطعه در قالب A
۵۳	..... شکل ۳-۳ مراحل شکل‌گیری قطعه در قالب B
۵۴	..... شکل ۳-۴ تغییرات ضخامت در مقطع قطعه تولیدی
۵۵	..... شکل ۳-۵ قالب مورد استفاده در تحقیق آقای Rachik
۵۵	..... شکل ۳-۶ توزیع ضخامت قطعه فرم داده شده
۵۶	..... شکل ۳-۷ تغییرات فشار بر حسب زمان
۵۷	..... شکل ۳-۸ تغییرات ارتفاع بر حسب زمان
۵۷	..... شکل ۳-۹ تغییرات فشار بر حسب ارتفاع
۵۹	..... شکل ۳-۱۰ ضرائب تنوری مونی-ریولین به صورتی تابعی از دما برای اکریلیک
۶۰	..... شکل ۳-۱۱ دستگاه ترموفرمینگ
۶۰	..... شکل ۳-۱۲ ابعاد برداری از سطح قطعه تولیدی به کمک Digitizer
۶۱	..... شکل ۳-۱۳ مقایسه هندسه قطعه تولید شده با نتایج تحلیلی
۶۳	..... شکل ۴-۱ طراحی فیکسچر و حلقه فرم‌دهی
۶۵	..... شکل ۴-۲ نیم کره تولید شده به روش فرم‌دهی آزاد
۶۶	..... شکل ۴-۳ نمای ایزومتریک مقطع قطعه تولید شده به روش فرم‌دهی آزاد
۶۶	..... شکل ۴-۴ مقطع قطعه تولید شده به روش فرم‌دهی آزاد
۶۷	..... شکل ۴-۵ ابر نقاط مقطع قطعه تولید شده به روش فرم‌دهی آزاد با استفاده از Projector Profile
۶۸	..... شکل ۴-۶ شماتیک مدلسازی و نحوه بارگذاری و شرایط مرزی فرم‌دهی آزاد در نرم افزار
۶۹	..... شکل ۴-۷ مقطع متقارن محوری قطعه قبل از اعمال بار در نرم افزار ABAQUS
۷۰	..... شکل ۴-۸ مقطع متقارن محوری قطعه بعد از اعمال بار در نرم افزار ABAQUS
۷۰	..... شکل ۴-۹ مقطع متقارن محوری قطعه پس از پایان حل در نرم افزار ABAQUS
۷۱	..... شکل ۴-۱۰ دوران ۱۸۰ درجه‌ای مقطع قطعه حول محور تقارن

- شکل ۴-۱۱ تعیین جهت زاویه صفر تا ۹۰ درجه..... ۷۱
- شکل ۴-۱۲ مقایسه نتایج تحلیلی و تجربی تغییرات ضخامت بر حسب زاویه..... ۷۴
- شکل ۴-۱۳ شماتیک فرم‌دهی با استفاده از پلاگ..... ۷۵
- شکل ۴-۱۴ شکل‌گیری قطعه تا ۷۵٪ ارتفاع کل به روش فرم‌دهی آزاد..... ۷۶
- شکل ۴-۱۵ شکل‌گیری نهایی قطعه تا ارتفاع کل به کمک پلاگ..... ۷۷
- شکل ۴-۱۶ مقایسه توزیع ضخامت روش فرم‌دهی آزاد با روش ترکیبی (با درصد مشارکت ۷۵٪ فرم‌دهی آزاد ۲۵٪ استفاده از پلاگ)..... ۷۷
- شکل ۴-۱۷ شکل‌گیری قطعه تا ۵۰٪ ارتفاع کل به روش فرم‌دهی آزاد..... ۷۸
- شکل ۴-۱۸ شکل‌گیری نهایی قطعه تا ارتفاع کل به کمک پلاگ..... ۷۸
- شکل ۴-۱۹ مقایسه توزیع ضخامت روش فرم‌دهی آزاد با روش ترکیبی (با درصد مشارکت ۵۰٪ فرم‌دهی آزاد ۵۰٪ استفاده از پلاگ)..... ۷۹
- شکل ۴-۲۰ شکل‌گیری ۲۵٪ ارتفاع کل قطعه به روش فرم‌دهی آزاد..... ۸۰
- شکل ۴-۲۱ لحظه تماس پلاگ با قطعه و شروع مرحله دوم فرم‌دهی به کمک پلاگ..... ۸۰
- شکل ۴-۲۲ اتمام فرآیند فرم‌دهی با کمک پلاگ..... ۸۱
- شکل ۴-۲۳ مقایسه توزیع ضخامت روش فرم‌دهی آزاد با روش ترکیبی (با درصد مشارکت ۲۵٪ فرم‌دهی آزاد ۷۵٪ استفاده از پلاگ)..... ۸۱
- شکل ۴-۲۴ شروع فرآیند فرم‌دهی با کمک پلاگ..... ۸۲
- شکل ۴-۲۵ مرحله میانی فرآیند فرم‌دهی با کمک پلاگ..... ۸۲
- شکل ۴-۲۶ اتمام فرآیند فرم‌دهی با کمک پلاگ..... ۸۳
- شکل ۴-۲۷ مقایسه توزیع ضخامت روش فرم‌دهی آزاد با روش ترکیبی (با درصد مشارکت ۲۰٪ فرم‌دهی آزاد ۸۰٪ استفاده از پلاگ)..... ۸۳
- شکل ۴-۲۸ مقایسه توزیع ضخامت در روش‌های متفاوت..... ۸۴

چکیده

استفاده از اکریلیک‌های شفاف در صنایع مختلف حساسیت کاربرد این مواد را افزایش داده و تلاش برای افزایش کیفیت تولید آن‌ها را موجب شده است. قابلیت شکل‌پذیری در دمای پایین-نسبت به شیشه- و همچنین مقاومت شکست نسبتاً بالا اقبال کاربران را برای استفاده از این ماده به عنوان یک سامانه شفاف را بالا برده است. در این پروژه ابتدا نگاهی گذرا به پلیمرها و برخی انواع آن‌ها شده است، سپس به پلیمرهای شفاف اشاره شده و شیشه‌های آلی در مقایسه با شیشه معدنی معرفی گردیده‌اند و به برخی ویژگی‌های متمایز کننده آن‌ها از جمله قابلیت شکل‌پذیری اشاره شده است سپس با تکیه بر اکریلیک، خواص آن جمع‌آوری و روش‌های متفاوت فرم‌دهی - آن که با نام فرم‌دهی گرم¹ شناخته می‌شود- توضیح داده شده است. سپس مروری بر رفتار مواد هایپرالاسیک و تئوری‌های این مواد شده است. این تئوری در حقیقت بیان‌کننده نحوه رفتار اکریلیک در هنگام فرم‌دهی می‌باشد. پس از آن روش تولید یک قطعه نیم کروی اکریلیکی توضیح داده شده و نمونه عملی تولید شده آن آورده شده است و شیوه عملی تولید آن کاملاً توضیح داده شده است. همچنین در ادامه کار روش‌های مختلف نحوه اندازه‌گیری ضخامت قطعات تولید شده به روش ترمو فرمینگ بررسی شده است و به روش مناسب نهایی برای اندازه‌گیری - که همانا استفاده از دستگاه Projector Profile می‌باشد- به طور دقیق اشاره شده است. سپس فرآیند ترمو فرمینگ به کاررفته برای تولید قطعه اکریلیکی مورد نظر در نرم افزار المان محدود ABAQUS شبیه‌سازی شده و نتایج تئوری و آزمایشگاهی با یکدیگر مقایسه و به این شیوه مدل کامپیوتری صحنه‌گذاری شده است. سپس همان مدل کامپیوتری برای پیش‌بینی توزیع ضخامت همان قطعه به روش‌های ترکیبی فرم‌دهی استفاده شده است که توزیع ضخامت یکنواخت‌تری از قطعه بدست می‌دهد. روش‌های ترکیبی استفاده شده در این پایان‌نامه استفاده از پلاگ در فرم‌دهی آزاد می‌باشد که درصدی از ارتفاع قطعه نهایی با استفاده روش فرم‌دهی آزاد شکل می‌گیرد و شکل نهایی با نیروی حاصل از پلاگ بدست می‌آید. در آخر نیز توزیع ضخامت‌های به دست آمده از روش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده و روش مناسب جهت فرم‌دهی محصولات اپتیکی معرفی شده است.

¹ Thermoforming

مقدمه

بعد از جنگ جهانی دوم استفاده از پلیمرها در صنایع و کاربردهای خاص معمول شد و اینک جایگاه پلیمرها در زندگی بسیار پر رنگ و استفاده از آنها اجتناب‌ناپذیر است، این پیشرفت تا به حدی است که در صنایع خودرو و هواپیماسازی طرح جایگزینی قطعات فلزی با محصولات پلیمری به عنوان یک استراتژی تولید به جد توسط شرکت‌های بزرگ دنیا دنبال می‌شود. به عنوان نمونه دماغه هواپیماهای آموزشی و نظامی تا سال‌ها به روش چرخکاری¹ و از جنس آلومینیوم آلیاژی تولید می‌گردید که البته به علت ملاحظات خاص کار با این آلیاژها و محدودیت‌های روش تولید و تجهیزات مورد نیاز، بسیار پرهزینه و با صرف وقت زیاد امکان‌پذیر بود، اما امروزه با پیشرفت‌های شگرفی که در زمینه رزین‌ها و الیاف پلیمری صورت پذیرفته است، این قطعه و بسیاری قطعات مشابه و حتی پیچیده‌تر به سهولت و با صرف وقت و هزینه بسیار پایین تولید می‌گردند، مضافاً به اینکه قطعات پلیمری جایگزین شده نه تنها از نظر استحکامی و پایداری مکانیکی قابل قیاس با قطعات مشابه فلزی پیشین هستند بلکه از نظر وزنی نیز سبکتر می‌باشند.

¹ Spinning

فصل اول: اکریلیک و کاربردهای آن

۱- مواد پلیمری

از نقطه نظر علم شیمی آلی، پلیمرها مولکول‌های زنجیر مانند با وزن مولکولی بسیار زیاد - اغلب در حدود چند صد هزار گرم بر مول - می‌باشند و از این رو به آنها بزرگ مولکول^۱ اطلاق می‌شود. این زنجیرهای طویل از اتصال کوالانت واحدهای کوچکتري به نام "مر"^۲ تهیه می‌شوند که به این فرآیند پلیمریزاسیون گفته می‌شود.

از نخستین پلیمرهای مورد استفاده می‌توان به پلیمرهای طبیعی نظیر پنبه، نشاسته، پروتئین و پشم اشاره نمود. ساخت پلیمرهای مصنوعی از اوایل قرن بیستم شروع شد. فنل فرم‌آلدئید و نایلون جزء اولین پلیمرهای مصنوعی ساخته شده هستند. با این حال دانشمندان در آن زمان از روابط فی‌مابین ساختمان شیمیایی و خواص فیزیکی ناشی از آن در مورد این مواد جدید بی‌اطلاع بودند. تحقیقات وسیع در این زمینه سبب بوجود آمدن علم شیمی فیزیکی پلیمرها شد.

۱-۱-۱ پلیمرهای کریستالی و آمورف

با یک دید کلی پلیمرها به دو دسته بزرگ پلیمرهای کریستالی و پلیمرهای آمورف تقسیم می‌شوند. هنگامی که یک ماده پلیمری از حالت مذاب یا محلول به جامد تبدیل می‌شود، تجمع مولکولی جهت حصول پایدارترین حالت ممکن صورت می‌پذیرد. صورت بندی‌های مولکول‌ها در صورت تبلور با پایدارترین فرم ممکن، حداکثر تجمع مولکولی را موجب می‌شود. چون تشکیل بلورها منتهی به آزاد شدن انرژی می‌گردد و سطح انرژی پایین می‌رود بنابراین در صورتی که ماده پلیمری پتانسیل ذاتی برای تبلور داشته باشد به احتمال خیلی زیاد متبلور خواهد شد. سال‌هاست که معلوم شده است که تعدادی از مواد پلیمری قابلیت تبلور دارند و نمونه‌های کریستالی به نیمه بلوری موسومند. خصلت نیمه بلوری در مقایسه با مواد ساده بلوری از مشخصه عمده پلیمرهای کریستالی است زیرا دانسیته یک نمونه پلیمر کریستالی همواره بین دانسیته آن به صورت بلوری کامل و آمورف کامل است.

^۱ Macro Molecules

^۲ Mer

پلیمرهای جامد آمورف به حالت شیشه‌ای و یا رابری^۱ هستند. این نوع پلیمرها را می‌توان به پلیمرهای مایع منجمد تشبیه نمود. با وجودی که خواص این مواد به خوبی مطالعه شده‌است ولی ساختمان آنها به مقدار کم شناخته شده‌است زیرا ساختمان مولکولی منظمی نداشته و آنها را نمی‌توان با استفاده از روش‌های استاندارد پراش یک اشعه به خوبی بررسی نمود. این دشواری را می‌توان به حساب طول زنجیر مولکول گذاشت. با وجود این در سال‌های اخیر شواهد حاصل از پراش اشعه X و میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های از پلیمرهای شیشه‌ای، نظم تجمع مولکولی در آنها را تأیید می‌کند. در پلیمرهای آمورف شیشه‌ای مانند پلی‌استایرن و پلی‌متیل‌متاکریلات قرارگیری مولکولها در کنار هم تصادفی بوده و هنگامی که در اثر انرژی گرمایی تحرک مولکولها افزایش می‌یابد، پلیمر به ترتیب از حالت شیشه‌ای و رابری گذشته و بالاخره به حالت خمیری درمی‌آید. چنین انتقالی منجر به تغییراتی در خواص فیزیکی پلیمر می‌گردد. در درجه حرارت بالا (بیشتر از دمای ذوب) و یا به حالت محلول، تمامی پلیمرها آمورف هستند و پیوند شیمیایی مولکول‌های آنها عمدتاً از طریق چرخش پیوندی، تحرک قابل ملاحظه‌ای را دارند در نتیجه چنین تحرکی امکان جابه‌جایی سگمنت‌های^۲ طویل از زنجیر مولکولی میسر شده و مولکولها صورت‌بندی مارپیچ راندم را دارند. در درجه حرارت پایین - در حد دمای اتاق- و در غیاب حلال، نمونه‌های پلیمر آمورف فرم تصادفی را حفظ نموده در حالی که از تحرک مولکولی آنها خیلی کاسته شده‌است و جابه‌جایی سگمنت‌های طویل زنجیرهای مولکولی هم صورت نمی‌گیرد. مقدار تحرک مولکولها و امکان تغییر صورت‌بندی آنها در درجه حرارت اتاق تعیین کننده حالت آمورف شیشه‌ای یا رابری ماده پلیمری است. [1].

در جدول ۱-۱ ذیل برخی مواد آمورف و کریستالی آمده است.

جدول ۱-۱ برخی پلیمرهای آمورف و کریستالی [۲]

Amorphous	Crystalline
Polyvinyl Chloride (PVC)	Polyethylene
Polystyrene(PS)	Polypropylene
Polycarbonate(PC)	Polyamide(PA)
Acrylic(PMMA)	Acetal(POM)
Acrylonitrile-butadiene-styrene(ABS)	Polyester(PETP, PBTP)
Ppolyphenylene(PPO)	Fluorocarbons(PTFE, PFA, FEP, ETFE)

¹ Rubber like

² Segments

۱-۱-۲ مواد گرمانرم^۱ و گرماسخت^۲

مواد پلیمری به گستره وسیعی از لاستیک‌ها، پلاستیک‌ها، رزین‌ها و چسب‌ها و ... اطلاق می‌شود. در این پایان نامه راجع به آن دسته از پلاستیک‌هایی بحث می‌شود که قابلیت عبور نور را داشته و از خواص اپتیکی بالایی برخوردار باشند. پلاستیک‌ها بر حسب رفتارشان در برابر حرارت به دو دسته گرمانرم و گرماسخت تقسیم می‌شوند.

۱-۲-۱-۱ گرمانرم

مواد گرمانرم دسته‌ای از مواد پلیمری هستند که زنجیره‌های بزرگ ملکول‌های آنها با نیروی ضعیف واندروالس به یکدیگر متصل می‌شوند. در اثر گرما نیروی بین مولکولی زنجیره‌های این مواد ضعیف شده و ماده نرم و انعطاف‌پذیر می‌شود و در اثر حرارت بیشتر به صورت مذاب ویسکوز در می‌آیند و پس از خنک شدن، ماده مجدداً به صورت جامد در می‌آید. برخی مواد مانند پلی‌اتیلن و پلی‌وینیل کلراید و پلی‌استایرن و پلی‌متیل متا اکریلات از این دسته مواد می‌باشند. [2]

۱-۲-۱-۲ گرماسخت

به طوری کلی به موادی گرما سخت گفته می‌شود که پس از اینکه برای اولین بار به واسطه گرما تولید شدند، در برابر گرما مقاوم بوده و پس از آن تغییر شکل نمی‌دهند.

مواد گرماسخت به واسطه یک واکنش شیمیایی دو مرحله‌ای تولید می‌گردند. در مرحله اول زنجیره بزرگی از مولکول‌ها با یکدیگر پیوند برقرار می‌کنند -درست مانند آنچه در مواد گرمانرم رخ می‌دهد- اما این زنجیره‌ها همچنان امکان ایجاد پیوندهای بیشتری را دارند. این پیوندهای جدید که بین شاخه‌ها برقرار می‌شود و اصطلاحاً به آن پیوند میان شاخه‌ای^۳ گویند، در حین قالب‌گیری و تحت دما و فشار ایجاد می‌شوند و قطعه‌ای با استحکام و صلیبت بالا به دست می‌دهند. این پیوندهای بین شاخه‌ای بسیار مستحکم بوده و از نرم شدن مجدد قطعه در اثر بالا رفتن دما جلوگیری می‌کند. [2]

¹ Thermoplast

² Thermoset

³ Cross Link

۲-۱ معرفی اکریلیک

در برخی کاربردهای صنعتی قطعاتی مورد نیاز است که بتوانند مانند یک غشاء مستحکم حائل میان دو محیط باشند و دو فضا را به طور کامل از یکدیگر جدا کنند و در عین حال ارتباط نوری (اپتیکی) دو فضا را با یکدیگر قطع نکنند. به عبارت دیگر در این گونه موارد، غشاء یا جداکننده‌های اپتیکی مد نظر هستند که علاوه بر استحکام مکانیکی جهت تحمل شرایط بعضاً دشوار، قابلیت عبور نور داشته و همچنین به وضوح، فضای دو طرف آن قابل مشاهده باشد. شیشه‌های ساختمانی جز اولین و بدیهی‌ترین موادی هستند که خواص ذکر شده را دارا می‌باشند. صفحات شفاف^۱ که امروزه کاربردهای صنعتی یافته‌اند به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند. شیشه‌های معدنی که بر پایه سیلیس می‌باشند، یکی از این دو گروه است و دیگری شیشه‌های آلی که بر پایه ترکیبات هیدروکربن بوده و عموماً به پلی‌کربنات‌ها و اکریلیک‌ها اطلاق می‌شود. البته برخی دیگر از پلیمرها که خواص اپتیکی و شفافیت داشته باشند مانند پلی‌استایرن^۲ و پت^۳ وجود دارند که به خاطر برخی محدودیت‌های آن‌ها مانند استحکام کم و کاهش ویژگی‌های اپتیکی در اثر افزایش ضخامت و مقاومت کم در برابر اشعه ماوراء بنفش کاربردهای اندکی در این موارد پیدا کرده‌اند. در این پایان نامه اکریلیک‌ها به جهت کاربرد وسیع و روزافزون در صنایع، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

مهم‌ترین ماده تجاری از خانواده اکریلیک‌ها، پلی‌متیل‌متاکریلات است که امروزه از مشتقات اسید اکریلیک محسوب می‌شود. متیل، اتیل و آلیل اکریلات برای اولین بار در سال ۱۸۷۳ توسط آقایان کاسپاری (Caspary) و تالسنس (Tolense) تهیه شد. در سال ۱۸۸۰ آقایان کالباوم (Kahlbaum) و فیتینگ (Fitting) به صورت جداگانه پلیمریزاسیون متیل اکریلات را گزارش کردند. در سال ۱۹۰۱ آقای رهم (Rohm) در تز دکترای خود پلیمرهای اکریلیک را مورد بررسی دقیق قرار داد و پس از آن با تلاش فراوان در سال ۱۹۲۷ در آلمان با همکاری آقای هاس (Hass) توانست به طور محدود پلی‌متیل اکریلات را با نام تجاری اکریلوید (Acryloid) و پلگسی گام (Plexigum) تولید کند. این ماده البته ماده‌ای نرم و شبیه به آدامس بود و بیشتر به عنوان پوشش استفاده می‌شد. در سال ۱۹۳۰ آقای هیل (Hill) در انگلستان و آقای باور (Bauer) در آلمان به طور مستقل پلی‌متیل متاکریلات را که ماده‌ای صلب و شفاف بود تهیه نمودند. [3]

¹ Transparent plates

² PolyStyrene

³ PET

۱-۲-۱ خانواده اکریلیک

از بین خانواده‌های پلیمرهای اکریلیک که دو گروهند یعنی آلکیل اکریلیک ها و متیل آلکیل اکریلیک‌ها، تنها پلیمری که در صنعت به مقدار زیاد تولید و به محصولات پلاستیکی تبدیل می‌شود، پلی متیل متاکریلات است.

پلی متیل متاکریلات که به اختصار به آن PMMA^۱ می‌گویند به دو فرم ورقه و پودر قالب‌گیری - که به وسیله فرآیندهای متفاوتی تولید می‌شوند- در دسترس است. ورقه توسط قالب‌گیری یک ماده رزینی (پلیمر از پیش تهیه شده در مونومر) حاوی آغازگر در صفحات شیشه‌ای یا فولادی از طریق پلیمرشدن به مدت چند ساعت در دمای پایین (۴۰ درجه سانتیگراد) ساخته می‌شود. ورقه PMMA از اجرای پلیمرشدن در یک اکسترودر^۲ و عبور پلیمر مذاب از از یک دای^۳ مخصوص شکل‌دهی هم بدست می‌آید. در فرایند ریختگی، پلیمر با متوسط وزن مولکولی بالا تولید می‌شود در حالی که در فرایند اکستروژن برای شکل‌گیری در دای بایستی متوسط وزن مولکولی پلیمر کنترل گردد تا از حد معینی بالاتر نرود. پودرهای قالب‌گیری این پلیمر از طریق پلیمرشدن تعلیقی حاصل می‌شوند و متوسط وزن مولکولی آنها هم بوسیله یک عامل انتقال زنجیری (مانند دو دسیل مرکاتیان) کنترل می‌گردد.

PMMA ریختگی یک پلیمر با استحکام بالاست اما ترد بوده و در درصد پایینی از ازدیاد طول، می‌شکند. اما پلیمرهای اکستروژن شده با وزن مولکولی بالا؛ قویتر از پلیمر پودری بوده و چقرمگی آن نیز بالاتر است. برای مثال مقاومت ضربه‌ای پلیمر اکستروژن می‌تواند تا ۵۰٪ بیشتر از نوع پودری باشد. همچنین در اکریلیک‌های اکستروژن شده مقاومت در برابر تشکیل و رشد ترک‌های موین^۴ خیلی بیشتر است اما در صورتی که در هنگام فرم‌دهی در آن تنش پس‌ماند^۵ باقی بماند احتمال ترک خوردگی در آن زیاد می‌شود لذا عموماً پس از پروسه فرم‌دهی این نوع قطعات، آنها را در کوره‌های مخصوصی تنش‌گیری یا آنیل^۶ می‌کنند. سختی PMMA نسبتاً بالاست و در برابر خزش نیز نسبتاً مقاوم است. دمای نرم شونده آن اندکی بیشتر از پلی‌استایرن بوده که بوسیله باقیمانده مونومر در ماتریس پلیمر یا رطوبت جذب شده کاهش می‌یابد. این پلیمر در برابر اشعه

^۱ Poly Methyl Metha Acrylate

^۲ Extruder

^۳ Die

^۴ Crazing

^۵ Residual stress

^۶ Anneal

ماوراء بنفش و شرایط جوی بسیار مقاوم است و دچار زردشدگی¹ نمی‌گردد. در مقایسه با شیشه‌های معدنی یکی از نقاط ضعف اکریلیک‌ها اشتعال‌پذیری آنها و مقاومت کم آنها در برابر سایش می‌باشد. این پلیمر در برابر نمک‌های قلیا و اسیدهای رقیق و پاک‌کننده‌ها و روغن‌ها مقاوم است ولی حلال‌های قطبی مثل ستون‌ها و هیدروکربورهای کلره بر آن اثر داشته و تشکیل ترک‌های موئین را به خصوص در مورد قطعات در معرض تنش افزایش می‌دهد.

باید به خاطر داشت که هر تلاشی که جهت تغییر خواص پلیمرهای اکریلیک در صنعت پلاستیک انجام می‌گیرد در ارتباط با رقابت آنها با پلیمرهای ارزاتر با خواص مشابه مانند پلی‌استایرن می‌باشد. عمده‌ترین نقاط ضعف PMMA عبارتند از:

- امکان جدا شدن واحدهای سازنده زنجیرهای مولکولی پلیمر در هنگامی که در معرض دمای بالا قرار می‌گیرند.
- گرانبوی مذاب به علت سفتی زنجیرهای مولکولی بالاست که در اثر محدودیت چرخش پیوندهای C-C در این زنجیرهاست.
- مقاومت آنها در برابر خزش در دمای بالا، پایین است.
- مقاومت ضعیف در برابر حلال‌ها که موجب تشکیل ترک‌های موئین و تردی پلیمر می‌گردد.

تنها خواصی از این پلیمر که بوسیله کوپلیمرشدن تا به حال اصلاح شده است حساسیت آن در برابر باز شدن واحدهای مونومری از زنجیرهای مولکولی است. این امر به سادگی با به کارگیری کومونومرهایی که قادر به انتقال زنجیری (به جای واکنش باز شدن زنجیر) هستند انجام می‌گیرد.

اکریلیک‌ها به عنوان کومونومرهای برتر در پلی‌متیل‌متاکریلات می‌باشند زیرا مقاومت ذاتی در برابر اکسیداسیون حرارتی و نور ماوراءبنفش دارند. لذا PMMA حاوی مقدار کمی از مونومرهای اکریلیک است تا خطر باز شدن مونومر از زنجیر مولکولی آنها را ضمن فرآیندهای گرم به حداقل برساند. در مورد نمونه‌های پلیمرشده در قالب‌های صفحه‌ای یا استوانه‌ای کومونومرهای به‌کاررفته اغلب چهار عاملی بوده (دو پیوند پای² دارند) تا مقداری اتصال عرضی در ساختار بوجود آید و در نتیجه مقاومت پلیمر در برابر تشکیل ترک‌های موئین و همچنین سختی آن افزایش یابد. [1]

¹ Yellowance
² Π