



دانشگاه تبریز
دانشکده فنی و مهندسی مکانیک
گروه ساخت و تولید

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک - ساخت و تولید

عنوان

اثر افزودن عامل کراسلینگ و نانوذرات معدنی بر مقاومت به ضربه

قطعات قالبگیری دورانی پلی اتیلنی

استاد راهنما

دکتر کریم شلش نژاد

استاد مشاور

دکتر علی اکبر انتظامی

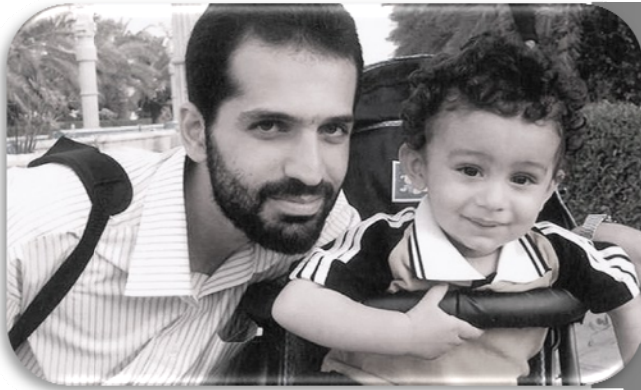
پژوهشگر

وحید افتخاری

آذر ماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به



شهید مصطفی احمدی روشن

و فرزند دلبندهش

علی

تقدیر و تشکر:

خداوند منان را شکر گزارم که در این مرحله از زندگی نیز همچون دیگر ایام زندگانی‌ام، لطف و رحمت و سعادتش را شامل حال من نمود. در این مجال لازم می‌دانم:

از زحمات و راهنمایی‌های ارزشمند استاد بزرگوار، جناب آقای دکتر شلش نژاد صمیمانه قدردانی کرده و برای ایشان آرزوی سلامتی و بهروزی نمایم. همچنین از مشاوره‌ها و راهنمایی‌های جناب آقای دکتر انتظامی کمال تشکر را داشته و از جناب آقای دکتر محبوب‌خواه به دلیل قبول زحمت داوری این پایان‌نامه سپاسگزاری می‌کنم.

از مدیریت محترم شرکت ایران پاش جناب آقای میرزاده و کارکنان این شرکت به دلیل راهنمایی و همکاری در تولید قطعات و انجام آزمایشات مربوط به این پایان‌نامه سپاسگزاری می‌کنم.

از دوستان عزیزم آقایان مهندس: محمدصادق سرخیل، سیدحمزه موسی‌پور، علی جوادی، بهروز خوشبخت، سعید پزشکی، محمد حاجی‌قاسملو و ابراهیم فیضی به خاطر کمک‌هایشان در تدوین این پایان‌نامه قدردانی می‌کنم.

در نهایت بر خود واجب می‌دانم که از محبت‌های بی‌دریغ، دلسوزانه و همیشگی خانواده عزیزم - پدر، مادر و خواهرم - یاد کنم و به رسم سپاسگزاری، از خداوند رحمان و رحیم برای آنان سلامتی، طول عمر و خوشبختی مسألت نمایم.

«وحید افتخاری»

نام خانوادگی: افتخاری		نام: وحید
عنوان پایان نامه: اثر افزودن عامل کراسلینک و نانوذرات معدنی بر مقاومت به ضربه قطعات قالبگیری دورانی پلی اتیلنی		
استاد راهنما: دکتر کریم شلش نژاد		
استاد مشاور: دکتر علی اکبر انتظامی		
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد دانشکده: فنی و مهندسی مکانیک تاریخ فارغ التحصیلی: آذر ماه ۹۰	رشته: مهندسی مکانیک دانشگاه: تبریز	گرایش: ساخت و تولید تعداد صفحه: ۹۳
کلیدواژه: نانوکامپوزیت، MDPE، قالبگیری دورانی، پروکساید، نانوکربنات کلسیم، حافظه‌داری، خواص مکانیکی		
<p>چکیده:</p> <p>فرآیند قالبگیری دورانی یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای تولید قطعات توخالی و مخازن پلاستیکی با ضخامت یکنواخت می‌باشد. پلی‌اتیلن با چگالی متوسط (MDPE) به‌طور گسترده‌ای برای تولید محصولات به روش قالبگیری دورانی استفاده می‌شود. از معایب قطعات تولید شده به روش قالبگیری دورانی، محدودیت در خواص مکانیکی و بازیابی حرارتی می‌باشد. در این پژوهش، اثر افزودن نانوذرات معدنی کربنات کلسیم و عامل کراسلینک (پروکساید) بر مقاومت به ضربه و همچنین خواص خمشی و حافظه‌داری محصولات قالبگیری دورانی از MDPE با هدف ارتقای خواص مکانیکی و حافظه‌داری، مورد آزمایش قرار گرفت. در این تحقیق یک دستگاه قالبگیری دورانی در مقیاس پایلوت طراحی و ساخته شد. آمیزه‌های مختلف حاوی ۰/۵٪ وزنی از کربنات کلسیم و به ترتیب صفر، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد وزنی از پروکساید آماده و قالبگیری شد. آزمون‌های استاندارد ضربه، خمش و آزمون حافظه‌داری بر روی نمونه‌های مختلف انجام شد و ریزساختار نمونه‌های مختلف با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد که حضور عامل کراسلینک منجر به ارتقای حدود صد در صدی در مقاومت به ضربه، و افزودن نانوذرات کربنات-کلسیم باعث افزایش حدود دویست درصدی در مقاومت خمشی می‌شود. نتایج آزمون‌های حافظه‌داری نشان داد که افزودن عامل کراسلینک - پروکساید - باعث ایجاد خواص حافظه‌داری ولی حضور نانوذرات کربنات کلسیم منجر به تأخیر در بازیابی نمونه‌ها می‌گردد. نتایج آزمون‌های میکروسکوپی نشان داد که حضور مستقل هر کدام از افزودنی‌ها، شامل نانوذرات کربنات کلسیم و پروکساید، اثر حباب‌زایی در نمونه‌ها داشته، ولی حضور هم‌زمان آن افزودنی‌ها، اثر هم‌افزایی در ایجاد حباب در نمونه‌های قالبگیری شده دارد.</p>		

فهرست مطالب

۱	..... مقدمه
۳	..... ۱- پایه‌های نظری و پیشینه تحقیق
۳	..... ۱-۱- مواد پلیمری
۴	..... ۲-۱- تقسیم بندی پلاستیک‌ها
۴	..... ۱-۲-۱- ترموپلاستیک‌ها
۴	..... ۱-۱-۲-۱- مواد با ساختار کریستالی
۵	..... ۲-۱-۲-۱- مواد با ساختار آمورف
۵	..... ۲-۲-۱- پلی اتیلن
۶	..... UHMWPE-۱-۲-۲-۱
۶	..... HDPE-۲-۲-۲-۱
۶	..... MDPE-۳-۲-۲-۱
۶	..... LDPE-۴-۲-۲-۱
۷	..... LLDPE-۵-۲-۲-۱
۷	..... ۳-۲-۱- ترموست‌ها
۷	..... ۳-۱- مخلوط‌های پلیمری
۸	..... ۱-۳-۱- سازگار کننده

- ۴-۱- کامپوزیت‌ها ۸
- ۴-۱-۱- اجزای تشکیل دهنده کامپوزیت‌ها ۹
- ۴-۱-۱-۱- زمینه ۹
- ۴-۱-۲- فاز پراکنده یا تقویت کننده ۱۰
- ۵-۱- نانو کامپوزیت‌های پلیمری ۱۰
- ۵-۱-۱- تقسیم‌بندی نانو کامپوزیت‌ها ۱۱
- ۵-۱-۲- نانوذرات کربنات کلسیم ۱۲
- ۵-۱-۳- روش‌های تهیه نانو کامپوزیت‌های پلیمری ۱۳
- ۵-۱-۳-۱- روش پلیمریزاسیون درجا ۱۳
- ۵-۱-۳-۲- روش ترکیب محلول القا شده ۱۳
- ۵-۱-۳-۳- روش فرآیند ذوبی ۱۴
- ۶-۱- خواص و ویژگی‌های پلاستیک‌ها ۱۴
- ۶-۱-۱- شاخص جریان مذاب (MFI) ۱۴
- ۶-۱-۲- خواص مکانیکی ۱۴
- ۶-۱-۲-۱- خواص خمشی ۱۵
- ۶-۱-۲-۲- مقاومت ضربه‌ای ۱۵
- ۷-۱- قالبگیری دورانی ۱۷
- ۷-۱-۱- پدیده ایجاد حباب و انحلال آن، در قطعات قالبگیری دورانی ۲۲
- ۷-۱-۱-۱- تشکیل حباب هوا در مذاب ۲۲
- ۷-۱-۲- انحلال و ناپدید شدن حباب هوا در مذاب ۲۳

- ۸-۱- پیوندهای عرضی فرآیند شبکه‌ای شدن ۲۴
- ۱-۸-۱- روش‌های کراسلینک کردن پلی‌اتیلن ۲۵
- ۱-۱-۸-۱- روش پروکساید ۲۵
- ۲-۱-۸-۱- روش سیلان ۲۶
- ۳-۱-۸-۱- روش تابشی ۲۶
- ۹-۱- مواد حافظه‌دار ۲۶
- ۱۰-۱- پیشینه تحقیق ۲۷
- ۱۱-۱- هدف ۴۰
- ۲- مواد و روش‌ها ۴۲
- ۱-۲- مواد اولیه ۴۲
- ۲-۲- تهیه آمیزه‌ها ۴۲
- ۳-۲- تولید قطعات قالبگیری دورانی ۴۳
- ۱-۳-۲- قالبگیری نمونه‌ها در مرحله مقدماتی و مطالعات اولیه ۴۳
- ۲-۳-۲- قالبگیری در مرحله تولید قطعات نهایی ۴۵
- ۱-۲-۳-۲- ساخت قالب و دستگاه قالبگیری دورانی ۴۵
- ۲-۲-۳-۲- قالبگیری دورانی قطعات ۴۷
- ۴-۲- برش نمونه‌های استاندارد آزمون‌های مکانیکی ۴۷
- ۵-۲- آزمون حافظه‌داری ۴۸
- ۶-۲- آزمون ریزساختار و مشاهده حباب‌زایی ۴۹
- ۷-۲- آزمون ضربه ۵۰

۵۱	۸-۲- آزمون خمش
۵۳	۳- نتایج و بحث
۵۴	۳-۱- مورفولوژی و آثار حباب‌زایی
۶۰	۳-۲- آزمون حافظه‌داری
۶۷	۳-۳- آزمون خمش
۷۰	۳-۴- آزمون ضربه
۷۲	نتیجه‌گیری
۷۵	پیشنهاد برای تحقیقات آتی

فهرست شکل‌ها

۵	شکل ۱-۱ ساختار نیمه کریستالی
۵	شکل ۲-۱ ساختار آمورف
۱۳	شکل ۳-۱ طرح کلی ساختار نانوذرات و زمینه پلیمر نیمه بلوری آن در کامپوزیت
۱۵	شکل ۴-۱ آزمون خمش
۱۶	شکل ۵-۱ نحوه قرار گرفتن نمونه در آزمون ضربه
۱۷	شکل ۶-۱ نحوه قرار گرفتن نمونه در آزمون چارپی
۱۸	شکل ۷-۱ مراحل قالبگیری دورانی
۱۹	شکل ۸-۱: نما و شماتیک از یک دستگاه قالبگیری دورانی گهواره‌ای
۲۰	شکل ۹-۱ نمونه‌هایی از قطعات تولید شده به روش قالبگیری دورانی
۲۳	شکل ۱۰-۱ تصویر شماتیکی از تشکیل حباب در مذاب

- شکل ۱۱-۱ مقایسه مقاومت به ضربه و مدول خمشی در نمونه خالص و LDPE/CaCO₃ ۳۰
- شکل ۱۲-۱ نمای شماتیکی از تست بازیابی خمشی ۳۲
- شکل ۱۳-۱ نماهای موازی با سطح قطعه قالبگیری شده در دمای ۲۱۰°C با و بدون افزودنی ۳۴
- شکل ۱۴-۱ اثر افزودنی‌های مختلف بر روی ابعاد محل اتصال ذرات پودر پلیمر در حین سینترینگ ۳۵
- شکل ۱۵-۱ مقایسه اثر حضور افزودنی‌های مختلف بر روی فرآیند سینترینگ پودر پلیمر ۳۵
- شکل ۱۶-۱ اثر افزودنی‌های مختلف بر روی ویسکوزیته مذاب در نرخ برش پایین ۳۶
- شکل ۱۷-۱ اثر نوع عوامل هسته‌زا و سرعت خنک کاری بر روی چگالی قطعات مختلف PP ۳۷
- شکل ۱۸-۱ اثر عوامل هسته‌زا و سرعت خنک کاری بر مقاومت به ضربه قطعات مختلف PP ۳۷
- شکل ۱۹-۱ تصاویر متوالی از فرآیند سینترینگ با و بدون حضور افزودنی ۳۸
- شکل ۱-۲ قطعات قالبگیری شده در مرحله مطالعات اولیه ۴۴
- شکل ۲-۲ نمای دستگاه قالبگیری دورانی و قالب فلزی ۴۵
- شکل ۳-۲ نمای شماتیک از دستگاه قالبگیری دورانی ۴۶
- شکل ۴-۲ دو نیمه قالب فلزی در حالت باز ۴۶
- شکل ۵-۲ قطعات نهایی تولید شده برای برش نمونه‌های استاندارد ۴۷
- شکل ۶-۲ نمای شماتیک از آزمون بازیابی خمش ۴۸
- شکل ۷-۲ نمونه‌های آماده شده از آمیزه‌های مختلف برای آزمون حافظه داری ۴۹
- شکل ۸-۲ دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۵۰
- شکل ۹-۲ دستگاه آزمون ضربه ۵۱
- شکل ۱۰-۲ آزمون خمش ۵۱
- شکل ۱۱-۲ دستگاه آزمون خمش ۵۲
- شکل ۱-۳ تصویر SEM از آمیزه MDPE با بزرگنمایی ۴۰ برابر ۵۴
- شکل ۲-۳ تصویر SEM از آمیزه MDPE/0.5C با بزرگنمایی ۴۰ برابر ۵۵
- شکل ۳-۳ تصویر SEM از آمیزه MDPE/0.5C/0.5P با بزرگنمایی ۴۰ برابر ۵۵
- شکل ۴-۳ تصویر SEM از آمیزه MDPE/0.5C/0.75P با بزرگنمایی ۴۰ برابر ۵۶
- شکل ۵-۳ تصویر SEM از آمیزه MDPE/0.5C/1P با بزرگنمایی ۴۰ برابر ۵۶

- شکل ۳-۶ تصویر SEM از آمیزه MDPE/0.5C با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر ۵۸
- شکل ۳-۷ تصویر SEM از آمیزه MDPE/0.5C /0.5P با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر ۵۸
- شکل ۳-۸ تصویر SEM از آمیزه MDPE/0.5C /0.75P با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر ۵۹
- شکل ۳-۹ تصویر SEM از آمیزه MDPE/0.5C /1P با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰ برابر ۵۹
- شکل ۳-۱۰ نمودار نتایج آزمون حافظه داری آمیزه های مختلف در دمای ۱۲۵°C ۶۱
- شکل ۳-۱۱ نمودار نتایج آزمون حافظه داری آمیزه های مختلف در دمای ۱۵۰°C ۶۲
- شکل ۳-۱۲ نمودار نتایج آزمون حافظه داری آمیزه های مختلف در دمای ۲۰۰°C ۶۳
- شکل ۳-۱۳ نمودار اثر دما بر مدت زمان بازیابی، برای آمیزه MDPE/0.75P ۶۴
- شکل ۳-۱۴ نمودار اثر دما بر مدت زمان بازیابی، برای آمیزه MDPE/0.5C/0.5P ۶۵
- شکل ۳-۱۵ نمودار اثر دما بر مدت زمان بازیابی، برای آمیزه MDPE/0.5C/0.75P ۶۵
- شکل ۳-۱۶ نمودار اثر دما بر مدت زمان بازیابی، برای آمیزه MDPE/0.5C/1P ۶۶
- شکل ۳-۱۷ نمودار نیروی متوسط - جابجایی برای آمیزه های مختلف ۶۸
- شکل ۳-۱۸ نمودار ماکزیمم نیروی خمشی رای آمیزه های مختلف ۶۹
- شکل ۳-۱۹ نمودار مدول خمشی برای آمیزه های مختلف ۶۹
- شکل ۳-۲۰ اثر افزودن DCP و نانوکربنات کلسیم به مقاومت به MDPE ۷۱

فهرست جداول

- جدول ۲-۱ فرمول بندی آمیزه ها در مرحله اول آزمایشات ۴۳
- جدول ۲-۲ فرمول بندی آمیزه ها در مرحله دوم آزمایشات ۴۳
- جدول ۲-۳ مراحل و تنظیمات قالبگیری ۴۴
- جدول ۳-۱ نیروی خمشی نمونه های مختلف بر حسب (kN) ۶۷
- جدول ۳-۲ مدول خمشی نمونه های مختلف بر حسب (MPa) ۶۷
- جدول ۳-۳ مقاومت به ضربه نمونه های مختلف بر حسب (J) ۷۰

مقدمه

مقدمه

از حضور پلاستیک در زندگی ما بیش از یکصد سال نمی‌گذرد. با این وجود تصور جهان کنونی بدون وجود مواد پلیمری بسیار مشکل است. این مواد بخشی از زندگی انسان در جهان مدرن شده است و تقریباً در هر موقعیتی که تصور آن می‌رود، از مواد مصرفی عمومی گرفته تا قطعات پیچیده و دقیق صنعتی و پزشکی، نیاز به استفاده از مواد پلاستیکی مشهود است. مهندسان و طراحان، پلاستیک‌ها را به دلیل وجود خواص متنوع، در مقایسه با فلزات مورد توجه قرار می‌دهند. برخی خصوصیات پلیمرها از قبیل سبکی، انعطاف پذیری، مقاومت در برابر خوردگی، رنگ پذیری و تولید آسان آنها، موجب شده تا به عنوان جایگزین‌های مناسبی برای فلزات شناخته شده و به کار روند. با وجود تمامی این مزایا، مواد پلیمری دارای محدودیت‌هایی هستند که می‌توان با تولید کامپوزیت‌های پلیمری، افزودن پرکننده‌ها و ... این معایب را تا حدودی برطرف نمود.

واژه پلاستیک دارای ریشه یونانی و مشتق از واژه یونانی *Plastikos* به معنی "شکل دادن یا جای دادن درون قالب برای قالبگیری" می‌باشد. انجمن صنعت پلاستیک *SPI* تعریف دقیق‌تر و جامع‌تری را برای پلاستیک ارائه می‌کند: «واژه پلاستیک به هر یک از گروه‌های بزرگ و متفاوتی از مواد که به طور کامل یا در بخشی از ساختار شیمیایی خود، شامل ترکیباتی از کربن با اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن و یا سایر عناصر آلی و معدنی باشند، به طوری که در حالت نهایی خود، حالت جامد به خود گرفته و در چند مرحله از فرآیند ساخت و تولید خود نیز، شکل مایع به خود بگیرند، اطلاق می‌شود. خصوصیات فوق موجب می‌شود که پلاستیک‌ها قادر به تشکیل اجسامی سه بعدی در شکل‌های گوناگون، تحت تأثیر حرارت و فشار باشند». از لحاظ تاریخی صنعت پلاستیک از شدت رشد بسیار سریعی برخوردار بوده است. اگرچه پلاستیک‌های مصنوعی از اواخر قرن نوزدهم به طور گسترده به بازار نفوذ پیدا کردند ولی درحقیقت این صنعت با پایان جنگ جهانی دوم و ورود مواد اولیه پتروشیمیایی نسبتاً ارزان به بازار، رشد کرد و ما را به عصر کنونی، یعنی عصر پلاستیک‌ها، رهنمون ساخت.

فصل اوّل

یایہ ہا نظر و بیئتینہ تحقیق

۱- پایه‌های نظری و پیشینه تحقیق

۱-۱- مواد پلیمری

پلیمرها زنجیره‌های مولکولی بلندی هستند که از کنار هم قرار گرفتن واحدهای مولکولی کوچک به نام مونومر^۱ ساخته شده‌اند. عمل به هم پیوستن مونومرها و تشکیل پلیمر، پلیمریزاسیون^۲ نامیده می‌شود. نام اکثر پلیمرها از نام مونومر با پیشوند «پلی» ساخته می‌شود. اگرچه واژه‌های پلیمر و پلاستیک عموماً به یک معنا شناخته می‌شوند ولی در حقیقت با هم تفاوت دارند. پلیمرها مواد خالصی هستند که از عمل پلیمریزاسیون حاصل شده و به ندرت به شکل خالص استفاده می‌گردند و اغلب با اضافه کردن افزودنی‌های مناسب قابل استفاده هستند. مواد پلیمری پس از آن که افزودنی‌های لازم به آن اضافه شد، پلاستیک نامیده می‌شود (کراوورد^۳، ۲۰۰۲). از انواع افزودنی‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (پریچارد^۴، ۲۰۰۵):

- عوامل ضد الکتریسیته ساکن^۵
- عوامل جفت کننده^۶
- پرکننده‌ها^۷
- موادی که شعله‌وری را با تأخیر می‌اندازند^۸
- روان کننده‌ها^۹
- رنگدانه‌ها^{۱۰}

¹monomer

²polymerization

³Crawford R.J.

⁴Pritchard G.

⁵Antistatic Agents

⁶Coupling Agents

⁷Fillers

⁸Flame Retardants

⁹Lubricants

¹⁰Pigments

• تقویت کننده‌ها^۱

۲-۱- تقسیم‌بندی پلاستیک‌ها

به طور کلی پلاستیک‌ها به دو گروه اصلی گرمانرم‌ها (ترموپلاستیک‌ها^۲) و گرماسخت‌ها (ترموست-ها^۳) تقسیم‌بندی می‌شوند (کراوورد^۴، ۲۰۰۲):

۱-۲-۱- ترموپلاستیک‌ها

ترموپلاستیک‌ها، موادی شامل زنجیره‌های مولکولی بلند می‌باشند که با نیروهای واندروالسی نسبتاً ضعیفی در کنار هم نگه داشته شده‌اند. با حرارت دادن ترموپلاستیک‌ها، نیروهای بین مولکولی ضعیف‌تر شده و این مواد پس از نرم شدن، به مذاب تبدیل می‌شوند و در صورت سرد شدن دوباره به حالت جامد برمی‌گردند. عمل ذوب و انجماد می‌تواند چندین مرتبه برای این گروه از مواد تکرار شود. موادی مثل پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌کربنات (PC)، پلی‌استایرن (PS)، پلی‌آمید (PA) و پلی‌پروپیلن (PP) جزء ترموپلاستیک‌ها می‌باشند. ترموپلاستیک‌ها از نظر ساختار به دو گروه کریستالی^۵ و آمورف^۶ تقسیم‌بندی می‌شوند.

۱-۱-۲-۱- مواد با ساختار کریستالی

مواد با ساختار کریستالی موادی هستند که دارای ساختار مولکولی منظم بوده و توانایی تشکیل ساختار بلوری را دارند. در عمل، ساختار کاملاً کریستالی وجود ندارد. به همین دلیل به این گروه از ترموپلاستیک‌ها، مواد نیمه کریستالی نیز گفته می‌شود. ترموپلاستیک‌هایی مثل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی-آمید و PVC از این گروه از مواد هستند. این مواد دارای نقطه ذوب تیزی بوده و اغلب غیر شفاف (مات) می‌باشند. چگالی مواد نیمه کریستالی نسبت به آمورف بیشتر بوده (به دلیل تراکم ناشی از بلوری بودن) و دارای مقاومت شیمیایی، خستگی و سایشی خوبی هستند. میزان انقباض مواد نیمه کریستالی بالا می‌باشد. شکل ۱-۱، شماتیکی از یک ساختار نیمه کریستالی را نشان می‌دهد.

¹Reinforcements

²Thermoplastics

³Thermosets

⁴Crawford R.J.

⁵Crystalline

⁶Amorphous

شکل ۱-۱ ساختار نیمه کریستالی (گودشیپ^۱، ۲۰۰۴)

۲-۱-۲-۱- مواد با ساختار آمورف

برخی گرمانرم‌ها توانایی تشکیل ساختار بلوری را نداشته و در نتیجه دارای ساختار مولکولی نامنظم می‌باشند. این ترموپلاستیک‌ها، آمورف نامیده می‌شوند. پلی‌کربنات و پلی‌استایرن از این گروه از مواد هستند. این مواد به محض حرارت دادن شروع به نرم شدن می‌نمایند و دارای محدوده دمایی وسیعی برای نرم شدن می‌باشند. مواد آمورف، اغلب شفاف بوده و مقاومت شیمیایی، خستگی و سایشی پایین‌تری نسبت به مواد نیمه کریستالی دارند. میزان انقباض مواد آمورف کمتر از مواد کریستالی می‌باشد. شکل ۲-۱، شماتیکی از یک ساختار آمورف را نشان می‌دهد.

شکل ۲-۱ ساختار آمورف (گودشیپ^۱، ۲۰۰۴)

۲-۲-۱- پلی‌اتیلن

پلی‌اتیلن، یکی از انواع پلیمرهای ترموپلاستیک است که از پلیمریزاسیون مونومرهای اتیلن به وجود

¹ Goodship V.

می‌آید. پلی‌اتیلن پرمصرف‌ترین پلاستیک در جهان است که سالانه ۸۰ میلیون تن از آن تولید می‌شود.

معیارهای مختلفی برای دسته‌بندی پلی‌اتیلن وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها وزن مولکولی و شاخه‌های موجود در زنجیره مولکولی آن‌ها است. خواص مکانیکی پلی‌اتیلن رابطه مستقیمی با متغیرهایی از جمله نوع شاخه‌های زنجیره پلیمری، ساختار کریستالی و وزن مولکولی دارد. با در نظر گرفتن میزان فروش و مصرف، مهم‌ترین انواع پلی‌اتیلن، شامل HDPE، LDPE و LLDPE می‌باشند. در ادامه به معرفی انواع پلی‌اتیلن و خصوصیات آن‌ها پرداخته می‌شود.

UHMWPE - ۱-۲-۲-۱

نوعی پلی‌اتیلن است که وزن مولکولی آن ۳/۱ الی ۵/۶۷ میلیون گرم بر مول می‌باشد. وزن بالای این پلیمر موجب شده که خاصیت چقرمگی خوبی از خود نشان دهد. با این حال بلورینگی این پلیمر پایین است. خصوصیات ویژه این پلیمر از قبیل چقرمگی، برش‌پذیری و مقاومت شیمیایی موجب شده که برای مقاصد گوناگونی از جمله یاتاقان‌ها، چرخ دنده‌ها و قطعاتی که در معرض سایش می‌باشند، استفاده شود.

HDPE - ۲-۲-۲-۱

چگالی این پلیمر برابر یا بیشتر از 0.941 gr/cm^3 بوده و زنجیره پلیمری آن دارای درجه شاخه‌بندی پایین می‌باشد که این امر موجب افزایش نیروی بین مولکولی و در نتیجه مقاومت کششی HDPE می‌گردد. از این پلیمر در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی، ظروف مواد شیمیایی و شوینده و لوله‌های انتقال آب استفاده می‌شود.

MDPE - ۳-۲-۲-۱

محدوده چگالی این پلیمر $0.941 - 0.926 \text{ gr/cm}^3$ می‌باشد. قطعات ساخته شده از MDPE مقاومت بالایی نسبت به شوک‌های مکانیکی و سقوط از ارتفاع دارند. از این پلیمر در ساخت لوله‌های انتقال گاز، مخازن حمل مایعات، کیسه‌های پلاستیکی و آب‌بندها استفاده می‌شود.

LDPE - ۴-۲-۲-۱

این پلیمر دارای چگالی $0.940 - 0.910 \text{ gr/cm}^3$ بوده و دارای شاخه‌های متعدد کوتاه و بلند در

زنجیره مولکولی می‌باشد. وجود شاخه‌ها در زنجیره مولکولی موجب می‌شود که نیروی بین مولکولی در LDPE کم شده و در نتیجه کاهش مقاومت کششی و افزایش داکتلیته را به دنبال داشته باشد. از LDPE برای ساخت قطعات و مخازن صلب و همچنین فیلم‌ها و کیسه‌های پلاستیکی استفاده می‌شود.

1-2-2-5 LLDPE

چگالی این پلیمر $0.915 - 0.925 \text{ gr/cm}^3$ می‌باشد. این پلیمر در زنجیره مولکولی خود، شاخه‌های کوتاهی دارد. LLDPE نسبت به LDPE، مقاومت کششی و ضربه بالاتری داشته و با استفاده از قالبگیری دمشی، قابلیت تولید فیلم‌های نازک‌تری را دارد. از LLDPE برای ساخت روکش کابل برق، مخزن، لوله، اسباب‌بازی و غیره استفاده می‌شود.

1-2-3- ترموست‌ها

پلاستیک‌های ترموست (گرماسخت)، با واکنش شیمیایی دو مرحله‌ای تهیه می‌شوند. در اولین مرحله، مولکول‌های دراز زنجیر گونه‌ای، شبیه آنچه برای پلاستیک‌های گرمانرم ذکر شد، تشکیل می‌شود که همچنان قابلیت انجام واکنش دیگری را دارد. مرحله دوم واکنش یعنی ایجاد اتصالات عرضی بین زنجیرها، در خلال عملیات قالبگیری و در اثر اعمال حرارت و فشار صورت می‌گیرد. هنگام قالب‌گیری این مواد، تحت حرارت و فشار، تغییر شیمیایی ایجاد شده و اتصال عرضی بین زنجیره‌های پلیمری^۱ تشکیل می‌شود و به هنگام سرد شدن به شکل صلب در می‌آیند. پس از سرد شدن، پیوند محکمی بین زنجیره‌های پلیمری تشکیل می‌شود به طوری که نمی‌توان با حرارت دادن مجدد، این مواد را نرم کرد. بنابراین تغییر شکل مجدد آنها ممکن نبوده و قراضه آن قابل استفاده نیست. از پلاستیک‌های ترموست می‌توان به پلی‌استر، اپوکسی و باکالیت اشاره نمود (کراو فورد^۲، ۲۰۰۲).

1-3- مخلوط‌های پلیمری^۳

یکی از روش‌های کاربردی و اقتصادی برای تولید موادی با خصوصیات متنوع و کاربردهای

^۱Cross-Linking of Chains

^۲Crawford R.J.

^۳Polymer Blends

گسترده‌تر، اختلاط پلیمرها می‌باشد. از مزایای اختلاط پلیمرها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تولید موادی با مشخصات دلخواه و قیمت پایین‌تر
- گسترش کاربردهای پلیمرهای مهندسی
- بهبود مشخصه‌های پلیمر؛ به‌عنوان مثال می‌توان به اضافه نمودن یک پلیمر کریستالی به یک پلیمر آمورف، به منظور بهبود مقاومت شیمیایی و انحلال‌پذیری آن اشاره نمود.
- بهبود قابلیت بازیافت پلاستیک‌ها
- بهبود فرآیندپذیری، یکنواختی محصول و کاهش ضایعات تولید؛ به‌عنوان مثال می‌توان با افزودن موادی با ویسکوزیته پایین، افت فشار مذاب را در راهگاه‌ها و حفره قالب کم کرده و یکنواختی محصول تولید شده را بهبود بخشید (یوتراکی^۱، ۲۰۰۲).

۱-۳-۱- سازگارکننده^۲

اکثر پلیمرها در شرایط عادی غیر قابل اختلاط با یکدیگر هستند، به طوری که مخلوط آن‌ها دارای ساختاری با مناطق بزرگ^۳ و مرزهای خشن بین آن‌ها بوده و چسبندگی بین فازهای پلیمرها، ضعیف خواهد بود. برای بهبود خواص این مخلوط‌ها از سازگارکننده استفاده می‌شود. سازگارکننده با کاهش تنش سطحی، امکان به وجود آمدن ساختاری یکنواخت و ریز را فراهم می‌کند. همچنین سازگارکننده با بهبود چسبندگی بین فازهای پلیمری در حالت جامد، امکان انتقال تنش بین فازها را فراهم کرده و باعث بهبود خواص مکانیکی مخلوط پلیمری می‌گردد (یوتراکی^۴، ۲۰۰۲).

۱-۴- کامپوزیت‌ها^۵

پلیمرها نسبت به فلزات مزایایی داند ولی زمانی که بحث از خواص مکانیکی می‌شود، پلیمرها

¹Utraki L.A

²Compatibilizer

³Large domains

⁴Utraki L.A.

⁵Composites