



دانشکده فنی و مهندسی - گروه مهندسی مکانیک

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

مطالعه تجربی خواص مکانیکی و ساختاری در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ترموپلاستیکها

اساتید راهنما:

دکتر علی دنیوی

دکتر طاهر ازدست

تنظیم و نگارش:

آروین باقری ساعد

بهمن ماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

مطالعه تجربی خواص مکانیکی و ساختاری در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

ترموپلاستیکها

توسط:

آروین باقری ساعد

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده فنی و مهندسی به عنوان بخشی از

فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید

از دانشگاه ارومیه

ارومیه، ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه:

امضاء اعضای کمیته پایان نامه:

دکتر طاهر از دست ، استادیار مهندسی مکانیک (استاد راهنمای اول)

دکتر علی دنیوی، استادیار مهندسی مکانیک (استاد راهنمای دوم)

دکتر نادر پور محمود (داور داخلی)

دکتر سامرند رش احمدی (داور خارجی)

بهمن ماه ۱۳۹۰

پدرم و مادرم عزیزم

آنان که در سختترین شرایط پشتیبانم بودند و در برابر مشکلات تنه‌ایم نگذاشتند. خواهم کوشید تا با کسب موفقیت‌های

بیشتر و بزرگ‌تر در راه قدردانی از زحماتشان و جبران محبت‌های بی‌مستثنای کامی‌هر چند ناچیز بردارم.

تقدیر و سپاس

خداوند منان را شاکرم که در تمام برهه‌های زندگی مرا از یاد نبرده و لطف بی‌کرانش را شامل حال من نموده است.

باسپاس و تشکر از اساتید راهنمای گرامی، آقایان دکتر از دست و دکتر ذبیحی که مراد بر پایان رساندن این پروژه یاری رسانند. همچنین با تشکر از زحمات آقای مهندس حسن قلی زاده و مریدان محترم مرکز آموزشی فنی و حرفه‌ای شهید انصاری رشت که با صبر و حوصله بهم فکر و همراهی من در انجام این کار بودند.

چکیده

با توسعه روزافزون پلاستیکهای مهندسی، تقاضا برای روشهای جوشکاری سریع، قابل اتکا و دارای قابلیت تولید بالا، افزایش یافته است. هم زمان، به منظور دستیابی به خصوصیات بهتر، توسعه تکنیکهای اتصال جدید غیر قابل اجتناب گردیده است. در این پژوهش، ورقهای ABS، به کمک یک روش ابداعی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به هم متصل شدند. این فرآیند به ابزار بسیار ساده‌ای احتیاج دارد و به شدت ایمن می‌باشد. در این روش از قوس الکتریکی، دود و یا سایر عوامل خارجی خبری نیست. در این روش، یک کفشک حرارتی ثابت به نام "کفشک داغ"، تحت دمایی ثابت بر روی یک دستگاه فرز سوار گردید. این کفشک، منطقه جوش را به منظور اجتناب از بیرون ریختن ماده از ناحیه جوش، تحت فشار قرار می‌دهد. علاوه بر آن، منطقه جوشکاری بوسیله این کفشک تحت گرما قرار می‌گیرد. در ابتدا جهت ساخت کفشک از پلیت مسی استفاده گردید؛ اما پس از تعدادی آزمایش، زمان سرد شدن طولانی کفشک داغ ما را به جایگزین کردن فولاد معمولی به جای مس ترغیب نمود. از درون این کفشک یک پین چرخان، ماده مذاب را برهم می‌زند. سرعت چرخش پین، سرعت پیشروی آن و نیز دمای کفشک به عنوان پارامترهای قابل تغییر، به منظور مطالعه اثرشان بر روی خصوصیات مکانیکی و ساختاری قطعات جوشکاری شده در نظر گرفته شدند. از تست کشش استاندارد ASTM-D638 و مشاهده بوسیله تست SEM به این منظور استفاده گردید. نتایج به دست آمده یک رابطه قابل توجه را بین خصوصیات در نظر گرفته شده و پارامترهای فرآیند نشان دادند. با افزایش سرعت چرخش و دمای کفشک در کفشک مسی، استحکام کششی و کیفیت جوش افزایش یافت. همچنین، سرعت پایین‌تر پیشروی و افزایش سرعت چرخشی و دمای کفشک، استحکام کششی بالاتر و خصوصیات ساختاری مطلوب‌تری را در جوشکاری با کفشک فولادی نتیجه داد. به طور کلی، هر عاملی که سبب افزایش دمای ناحیه جوش، اختلاط بهتر ماده و نگهداری آن در این شرایط به مدت بیشتر شود، موجب افزایش استحکام کششی و بهبود خواص ظاهری و ساختاری نمونه می‌گردد.

فهرست مطالب

الف	تقدیم به
ب	تقدیر و سپاس
ج	چکیده
د	فهرست مطالب
ه	فهرست تصاویر و شکلها
و	فهرست جداول

فصل اول؛ آشنایی با پلاستیکها و روشهای جوشکاری آنها

۲	۱-۱ آشنایی با خواص عمومی پلاستیکها
۲	۱-۱-۱ مقدمه
۴	۱-۱-۲ دسته‌بندی پلاستیکها
۴	۱-۲-۱-۱ گرمانرم‌ها
۵	۱-۲-۱-۲ گرماسختها
۶	۱-۲-۱-۳ مواد مرکب
۷	۱-۲-۱-۴ اسفنجهای ساختاری
۷	۱-۲-۱-۵ الاستومرها
۸	۱-۲-۱-۶ آلیاژهای پلیمری
۹	۱-۳-۱-۱ مشخصه‌های بارز و برجسته پلاستیکهای مهم
۹	۱-۳-۱-۲ پلاستیکهای شبه بلوری
۱۱	۱-۳-۱-۳ پلاستیکهای بی شکل
۱۷	۲-۱ آشنایی با روشهای جوشکاری پلاستیکها
۱۷	۱-۲-۱ مقدمه
۲۰	۲-۲-۱ روشهای جوشکاری برون گرمایشی
۲۰	۱-۲-۲-۱ جوشکاری با هوای داغ
۲۱	۲-۲-۲-۱ جوشکاری با المنتهای جایگذاردنی یا نشانندی

۲۲	جوشکاری با ابزار داغ
۲۳	روشهای جوشکاری الکترومغناطیسی
۲۳	جوشکاری مقاومتی
۲۴	روش دی الکتريک
۲۴	جوشکاری با امواج مایکروویو (MWW)
۲۴	جوشکاری مادون قرمز (IRW) و لیزر (LW)
۲۵	روشهای جوشکاری درون گرمایشی
۲۵	جوشکاری به روش فراصوتی (مافوق صوت)
۲۶	جوشکاری چرخشی
۲۷	جوشکاری ارتعاشی خطی
۲۷	جوشکاری اربیتالی (مداری یا فلکی)
۲۸	جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی (FSW)
۳۱	جمع بندی

فصل دوم: تاریخچه ای از مطالعات صورت گرفته در گذشته

۳۴	مروری بر مطالعات صورت گرفته در زمینه جوشکاری FSW ترموپلاستیکها
۴۲	هدف از تحقیق

فصل سوم: مواد، تجهیزات و روشها

۴۵	مواد اولیه
۴۵	تجهیزات مورد استفاده
۴۵	ماشین فرزکاری
۴۶	کفشک داغ
۴۶	طرح اولیه (کفشک مسی)
۴۷	طرح اصلاح شده (کفشک فولادی)
۴۸	سیستم حرارتی
۴۹	پین چرخنده

۵۰	۵-۲-۳ فیکسچر صفحات
۵۱	۶-۲-۳ تجهیزات مورد استفاده جهت بررسی خواص مکانیکی و ساختاری نمونه‌ها
۵۱	۱-۶-۲-۳ دستگاه تست کشش
۵۲	۲-۶-۲-۳ دستگاه تست SEM
۵۳	۳-۳ آماده سازی نمونه‌ها
۵۳	۱-۳-۳ جوشکاری با طرح اولیه کفشک داغ
۵۵	۲-۳-۳ جوشکاری با طرح اصلاح شده کفشک داغ
۵۶	۳-۳-۳ نحوه آماده سازی نمونه‌ها برای تست کشش
۵۸	۴-۳-۳ نحوه آماده سازی نمونه‌ها برای تست SEM
۵۸	۴-۳ طراحی آزمایش (DOE)

فصل چهارم: نتایج و بحث پیرامون آنها

۶۱	۱-۴ مقدمه
۶۱	۲-۴ بررسی ظاهری نمونه‌های جوشکاری شده
۶۴	۳-۴ بررسی نتایج حاصل از تست کشش
۶۷	۴-۴ بحث پیرامون نحوه شکست نمونه‌ها
۶۹	۵-۴ نتایج حاصل از طراحی آزمایش
۷۱	۶-۴ تحلیل واریانس
۷۵	۷-۴ بررسی نتایج حاصل از تست SEM

فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۷۸	۱-۵ مقدمه
۷۸	۲-۵ نتیجه گیری
۷۹	۳-۵ ارائه پیشنهادات

منابع و مراجع

پیوست

فهرست شکلها

- شکل ۱-۱ تعدادی از کاربردهای پلیمرها در زندگی روزانه----- ۲
- شکل ۲-۱ تفاوت پیوندهای موجود در ساختار گرمانرمها و گرماسختها----- ۶
- شکل ۳-۱ برخی اشکال کاربردی ABS----- ۱۲
- شکل ۴-۱ منحنی عمومی تنش- کرنش برای پلاستیکها----- ۱۳
- شکل ۵-۱ جوشکاری با هوا یا گاز داغ----- ۲۰
- شکل ۶-۱ مراحل سه گانه جوشکاری مقاومتی نشاندهنده----- ۲۱
- شکل ۷-۱ مراحل شش گانه جوشکاری هات پلیت یا جوشکاری با صفحه داغ----- ۲۲
- شکل ۸-۱ فرآیند جوشکاری لیزر----- ۲۵
- شکل ۹-۱ جوشکاری فراصوتی ارتعاشی عمودی یا کوبشی----- ۲۵
- شکل ۱۰-۱ نمونه ای از کاربردهای جوشکاری فراصوتی----- ۲۵
- شکل ۱۱-۱ جوشکاری اربیتالی یا فلکی----- ۲۷
- شکل ۱۲-۱ جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی (FSW)----- ۲۸
- شکل ۱۳-۱ نمایی شماتیک از نواحی پسرو و پیشرو در فرآیند جوش FSW----- ۲۹
- شکل ۱۴-۱ رفتار ماده در ناحیه پیشرو----- ۳۰
- شکل ۱۵-۱ رفتار ماده در ناحیه پسرو----- ۳۰
- شکل ۱-۲ ابزار کفشک داغ ساخته شده بوسیله محققان دانشگاه BYU----- ۳۴
- شکل ۲-۲ مقایسه سطح مقطع جوش ورق ABS به روش الف) کفشک داغ ب) روش سنتی----- ۳۵
- شکل ۳-۲ تفاوت میکرو ساختاری دو نوع جوش روی ورقهای PP----- ۳۶
- شکل ۴-۲ نمونه ای از ابزار کفشک داغ برای جوشکاری FSW پلیمرها و نحوه سوار کردن آن روی دستگاه فرز----- ۳۶
- شکل ۵-۲ ناحیه جوشکاری شده FSW دو پاسه a) نمای شماتیک b) عکس از سطح مقطع جوش----- ۳۸
- شکل ۶-۲ مقادیر استحکام کششی جوشهای با زاویه مارپیچ ابزار 15° ----- ۳۹
- شکل ۷-۲ مقادیر استحکام کششی جوشهای با زاویه مارپیچ ابزار 45° ----- ۳۹
- شکل ۸-۲ نمودارهای نسبی تست کشش----- ۴۰
- شکل ۹-۲ ابزار مورد استفاده توسط M.A.Rezgui و همکارانش----- ۴۰

- شکل ۲-۱۰ ابزار شیاردار و رزوه‌دار-----۴۱
- شکل ۲-۱۱ الف) سطح مقطع جوشکاری شده با ابزار رزوه دار ب) سطح مقطع جوشکاری شده با ابزار شیار دار-----۴۱
- شکل ۲-۱۲ نمودار تنش- کرنش نمونه تست کشش قطعه پایه و جوشکاری شده با روش FSW-----۴۲
- شکل ۳-۱ دستگاه فرز FP4M استفاده شده در این پژوهش-----۴۵
- شکل ۳-۲ اتوی جوشکاری لوله‌های پلی اتیلنی-----۴۶
- شکل ۳-۳ کفشک داغ (طرح اولیه)-----۴۷
- شکل ۳-۴ طرح اصلاح شده کفشک داغ و طریقه نصب آن روی کلگی دستگاه فرز-----۴۸
- شکل ۳-۵ ترموستات و ترموکوپل-----۴۹
- شکل ۳-۶ پین چرخنده و بلبرینگ-----۵۰
- شکل ۳-۷ شکل فیکسچر صفحات-----۵۱
- شکل ۳-۸ دستگاه کشش SANTAM و INSTRON-----۵۱
- شکل ۳-۹ دستگاه SEM-----۵۲
- شکل ۳-۱۰ مسیر حرکت ابزار روی درز جوش-----۵۴
- شکل ۳-۱۱ جوشکاری با طرح اولیه کفشک داغ-----۵۵
- شکل ۳-۱۲ جوشکاری با طرح اصلاح شده کفشک داغ-----۵۵
- شکل ۳-۱۳ نمونه استاندارد D638-Type I-----۵۶
- شکل ۳-۱۴ نحوه جدانمودن نمونه تست کشش از قطعه جوشکاری شده-----۵۷
- شکل ۳-۱۵ نمونه تست کشش استفاده شده در این پایان نامه-----۵۷
- شکل ۳-۱۶ نمونه‌های تست SEM-----۵۸
- شکل ۴-۱ شکل ظاهری تعدادی از نمونه‌های جوشکاری شده با سرعت چرخش ابزار ۱۶۰۰ rpm-----۶۱
- شکل ۴-۲ نمونه B9-----۶۲
- شکل ۴-۳ نمونه‌های جوشکاری شده با سرعت ۸۰ mm/min-----۶۲
- شکل ۴-۴ نمونه‌های A3 و A6-----۶۳
- شکل ۴-۵ نمونه‌های جوشکاری شده با سرعت پیشروی ۲۰ mm/min-----۶۳
- شکل ۴-۶ نمونه‌های جوشکاری شده با سرعت بالای چرخشی و پیشروی-----۶۴
- شکل ۴-۷ نمودار تنش- کرنش نمونه B6-3 مربوط به داده‌های کفشک مسی-----۶۷

- شکل ۴-۸ نمونه تست کشش B4-3 پس از شکست-----۶۸
- شکل ۴-۹ نحوه توزیع ماده از یک سیم سربی در امتداد خط جوش-----۶۸
- شکل ۴-۱۰ تاثیر سرعت چرخش ابزار و دمای کفشک بر استحکام کششی (کفشک مسی)-----۶۹
- شکل ۴-۱۱ تاثیرات متقابل متغیرهای سرعت چرخشی و دمای کفشک بر استحکام کششی (کفشک مسی)-----۶۹
- شکل ۴-۱۲ تاثیر سرعت دورانی و سرعت پیشروی بر استحکام کششی (کفشک فولادی)-----۷۰
- شکل ۴-۱۳ تاثیرات متقابل متغیرهای دمای کفشک و سرعت چرخشی بر استحکام کششی (کفشک فولادی)-----۷۰
- شکل ۴-۱۴ مقایسه مقادیر استحکام کششی در سه سرعت چرخشی و سه دمای کفشک (کفشک مسی)-----۷۳
- شکل ۴-۱۵ مقایسه مقادیر استحکام کششی در سه سرعت چرخشی و سه دمای کفشک (کفشک فولادی)-----۷۳
- شکل ۴-۱۶ مقایسه مقادیر استحکام کششی در سه سرعت پیشروی و سه دمای کفشک (کفشک فولادی)-----۷۴
- شکل ۴-۱۷ مقایسه مقادیر استحکام کششی در سه سرعت پیشروی و سه سرعت چرخشی (کفشک فولادی)-----۷۴
- شکل ۴-۱۸ نمای شماتیک سطح مقطع نمونه‌های جوشکاری شده جهت انجام تست SEM-----۷۵
- شکل ۴-۱۹ سطح مقطع جوش نمونه A9 با بزرگنمایی ۳۰ برابر-----۷۵
- شکل ۴-۲۰ سطح مقطع جوش نمونه C1 با بزرگنمایی ۳۰ برابر-----۷۶

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ خواص عمومی پلاستیکهای بلوری و بی شکل----- ۵
- جدول ۱-۲ خواص حرارتی مواد----- ۱۶
- جدول ۱-۲ مقایسه نیازهای فرآیند برای روشهای مختلف اتصال ورق های PP با طول ۱۲ و ضخامت ۰/۲۵ اینچ----- ۳۷
- جدول ۲-۲ مقایسه قابلیت فرآیند برای روشهای معمول اتصال پلیمرها----- ۳۷
- جدول ۱-۳ خواص فیزیکی ABS----- ۴۵
- جدول ۲-۳ خصوصیات فیزیکی مس و فولاد ساختمانی ST37----- ۴۷
- جدول ۳-۳ برخی خصوصیات فولاد CK45----- ۴۹
- جدول ۴-۳ مشخصات بلبرینگ ۶۰۰۰----- ۴۹
- جدول ۵-۳ پارامترهای فرآیند(طرح اولیه کفشک داغ)----- ۵۴
- جدول ۶-۳ پارامترهای فرآیند(طرح اصلاح شده کفشک داغ)----- ۵۶
- جدول ۱-۴ نتایج به دست آمده در جوشکاری با کفشک مسی----- ۶۵
- جدول ۲-۴ نتایج بدست آمده در جوشکاری با کفشک فولادی----- ۶۵
- جدول ۳-۴ جدول ANOVA مربوط به داده‌های جوشکاری با کفشک مسی----- ۷۲
- جدول ۴-۴ جدول ANOVA مربوط به داده‌های جوشکاری با کفشک فولادی----- ۷۳
- جدول ۵-۴ مقایسه میانگین استحکامهای کششی در سطوح سه‌گانه پارامترهای فرآیند(کفشک مسی)----- ۷۳
- جدول ۶-۴ مقایسه میانگین استحکامهای کششی در سطوح سه‌گانه پارامترهای فرآیند(کفشک فولادی)----- ۷۵

فصل اول؛ آشنایی با پلاستیکها و روشهای جوشکاری آنها

بخش اول: آشنایی با خواص عمومی پلاستیکها

بخش دوم: آشنایی با روشهای جوشکاری پلاستیکها

۱-۱ آشنایی با خواص عمومی پلاستیکها

۱-۱-۱ مقدمه

«تصور جهان پیشرفته کنونی بدون وجود پلاستیکها مشکل است. امروزه آنها جزیی از زندگی ما شده‌اند و در ساخت اشیای مختلف، از وسایل خانگی و مورد مصرف عمومی تا ابزار دقیق و پیچیده‌ی پزشکی و علمی، به کار می‌روند. مهندسان و طراحان، پلاستیکها را به دلیل وجود ترکیبی از خواص متنوع، در مقایسه با سایر مواد مورد توجه قرار می‌دهند. این خواص عبارت است از: سبکی(وزن)، سختی و انعطاف پذیری، مقاومت در مقابل خوردگی، رنگ پذیری، شفافیت، سهولت شکل‌پذیری و غیره؛ البته محدودیت‌هایی نیز در کاربرد پلاستیکها وجود دارد که یک طراح خوب و ماهر میتواند آنها را به حداقل برساند.

واژه پلاستیک به گروهی از مواد شبیه نایلون، پلی اتیلن، تفلون (پلی تترافلورو و اتیلن) اشاره دارد، همان طور که واژه‌ی فلزات، آلومینیوم، روی و فولاد در گروه فلزات را نشان می‌دهد، نایلون نیز کاملاً متفاوت با تفلون در گروه پلاستیکها دارد. برخی از طراحان ممکن است بسادگی برای ساخت یک قطعه‌ی خاص، فلز را پیشنهاد دهند که چنین برخوردی با پلاستیکها به هیچ وجه منطقی نیست، بلکه باید پخته‌تر و عمیقتر به آن نگریست. همچنان که فولاد دارای درجه‌بندی و انواع گوناگون است، به همین ترتیب برای مثال، پلی پروپیلین نیز به عنوان نوعی پلاستیک، دارای درجه بندی و انواع متفاوتی است. در هر دو حالت، طراح موفق کسی است که بهترین نوع ماده را با توجه به توانایی شکل‌پذیری چقرمگی^۱، مقاومت شیمیایی و غیره انتخاب کند و به کارگیرد. شکل ۱-۱ تعدادی از کاربردهای پلیمرها در زندگی روزمره را به صورت مصور نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱. تعدادی از کاربردهای پلیمرها در زندگی روزانه

معمولاً تصور می‌شود پلاستیکها مواد نوظهوری هستند ولی در واقع به عنوان عضو و جزیی از خانواده‌ای بزرگتر موسوم به پلیمرها، عنصری اساسی و پایه در زندگی حیوانی و نباتی محسوب می‌شوند. ساختمان پلیمرها با مولکول‌های بسیار دراز زنجیرگونه از ساختمان فلزات کاملاً متفاوت است. مواد طبیعی مانند ابریشم، لاک، قیرطبیعی، کشسانها و سلولز دارای چنین ساختمان مولکولی هستند. البته تا قرن نوزدهم میلادی که کوشش‌هایی برای تهیه‌ی مواد پلیمری مصنوعی آغاز و منجر به

^۱Toughness

ساخت سلولز شد کار مهمی انجام نشده بود. این ماده‌ی پلیمری جدید به نام مخترعش، الکساندر پارکس، پارکساین^۱ نامیده شد و گرچه قابل ارائه به بازار مصرف نبود ولی بعد از مدتی به ساخت سلولوئید منتهی شد. این پلیمر به دلیل توانایی جایگزینی با مواد طبیعی نادر و کمیابی، مثل عاج فیل، در ساخت گلوله‌های بازی بلیارد از اهمیت بسیاری برخوردار شد.

در اوایل قرن بیستم میلادی توجه زیادی به مواد پلیمری مصنوعی جدید معطوف شد. در سال ۱۹۰۹ میلادی فنل فرم آلدیید موسوم به باکلیت^۲ ساخته شد؛ در اثنای جنگ دوم جهانی، موادی مثل نایلون، پلی اتیلن و اکریلیک موسوم به پرسپکس^۳ به دنیا عرضه شد. متأسفانه کاربرد اولیه‌ی پلاستیکها به عنوان ماده‌ای ارزان و جایگزین شونده در هر کار، اعتبار آنها را خدشه دار کرده است، کسب مجدد این اعتبار به زمان نیازمند است. خواص ویژه‌ای که پلاستیکها از خود نشان می‌دهند، بتدریج آنها را به عنوان مواد بسیار مهمی در جایگاه واقعی کاربردی خویش قرار خواهد داد. مصرف روز افزون پلاستیکهای موجود، ویژگی‌ها و خواص آنها را به طراحان و مهندسان، برای دستیابی به بهترین نتایج عملی، نشان می‌دهد.

پلیمرها مولکول‌های مصنوعی بلندی هستند که از اتصال و به هم پیوستن هزاران واحد کوچک مولکولی، موسوم به منومر^۴ تشکیل شده‌اند. روش اتصال مولکولها به یکدیگر را پلیمره شدن^۵ می‌نامند و تعداد این واحدهای کوچک مولکولی در زنجیر دراز به درجه‌ی پلیمره شدن موسوم است. نامگذاری بسیاری از پلیمرها تنها با افزودن پسوند پلی به نام منومر مربوط به دست می‌آید. به عنوان مثال پلیمرهای پلی پروپیلن و پلی استایرن به ترتیب از منومرهای پروپیلن و استایرن به دست آمده است.

واژه‌های پلیمرها و پلاستیکها معمولاً هنگام کاربرد مترادف فرض می‌شود، اما در واقع با یکدیگر تفاوت دارند. پلیمر ماده‌ی خالصی است که از واکنش پلیمر شدن حاصل می‌شود. این واژه معمولاً به عنوان نام خانوادگی کلی موادی به کار می‌رود که دارای مولکول‌های دراز و زنجیرگونه است و حتی کشسانها را نیز شامل می‌شود. پلیمر بندرت به صورت خالص مصرف و با افزودن مواد دیگری به آن، اصطلاحاً پلاستیک نامیده می‌شود. در ذیل مهمترین مواد افزودنی و علل کاربرد آنها ذکر می‌شود:

۱- مواد ضد بار ساکن^۶

۲- مواد پیوند دهنده (جفت کننده)

۳- مواد پرکننده

۴- مواد به تأخیراندازه‌ی اشتعال

۵- روان کننده‌ها

۶- رنگدانه‌ها

^۱Parkesine

^۲Bakelite

^۳Perspex

^۴Monomer

^۵Polymerization

^۶Antistatic Agents

۷-نرم کننده‌ها^۱

۸-استحکام‌دهنده‌ها^۲

۹-پایدار کننده‌ها^۳

۱-۱-۲ دسته بندی پلاستیکها

۱-۱-۲-۱-۱ گرمانرم‌ها(ترموپلاستیکها)

در مواد گرمانرم زنجیره‌های دراز مولکولی با نیروهای ضعیف واندروالسی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. می‌توانید کلاف در هم پیچیده پشمی را برای تصور وضعیت مولکولی این مواد در نظر بگیرید. وقتی به این مواد حرارت داده شود، نیروهای بین مولکولی ضعیف می‌شوند طوری که ماده، نرم و انعطاف پذیر شده، سرانجام در اثر افزایش دما به حالت مذاب گرانون در می‌آید. هنگامی که ماده را سرد کنیم دوباره به حالت جامد بر می‌گردد. نرم شدن ماده در اثر گرم کردن و جامد شدن در اثر سرد کردن را می‌توان بارها و بارها تکرار کرد، این مشخصه مهمترین ویژگی و خصوصیت مواد گرمانرم و پایه بسیاری از روش‌های متداول شکل-دهی است. از طرف دیگر این ویژگی بیانگر این نقطه‌ی ضعف است که خواص مواد گرمانرم، به گرما و حرارت بسیار حساس است. مثال ملموسی از این مواد، شمع گونه است که به دفعات در اثر حرارت ذوب و نرم شده، با سرد شدن به صورت جامد در می‌آید. پلی اتلین و ونیل کلراید، پلی استایرن، نایلون، استات سلولز، استال، پلی کربنات، پلی متیل کربلات و پلی پروپیلین مثال‌هایی از مواد گرمانرم است.

تقسیم بندی مهم مواد گرمانرم، بلوری (منظم) بودن^۴ یا بی‌شکل(نامنظم) بودن^۵ ساختار آنهاست. در عمل، یک قطعه قالبگیری شده از ماده‌ی گرمانرم، به علت طبیعت فیزیکی پیچیده زنجیره‌های مولکولی، دارای ساختمانی کاملاً منظم و بلوری نیست. برخی از آنها نظیر پلی اتلین و نایلون، در حد بالایی از نظم ساختمانی و بلوری برخوردارند ولی دقیقتر این است که آنها را شبه بلوری یا جزیی بلوری بنامیم. دیگر گرمانرمها نظیر اکریلیک و پلی استایرن همیشه نامنظم و بی‌شکل است. وجود مناطق بلوری در این پلاستیکها، به تاریخچه‌ی گرمایی و شرایط عملیات شکل دادن و کار با آنها برای ساخت قطعه‌ی نهایی وابستگی زیادی دارد و به تبع آن، خواص مکانیکی قطعه وابسته به حضور یا عدم حضور این مناطق بلوری است. بطور کلی پلاستیک‌های بلوری چگالی بیشتری دارند، زیرا بلوری بودن ناشی از تراکم بیشتر مولکول‌های پلاستیک است. خواص عمومی پلاستیک‌های بلوری و بی‌شکل در جدول ۱-۱ نشان داده شده است.

^۱Plasticisers

^۲Reinforcement

^۳Coupling Agents

^۴ Crystalline

^۵ Amorphous

جدول ۱-۱. خواص عمومی پلاستیکهای بلوری و بی شکل [۱]

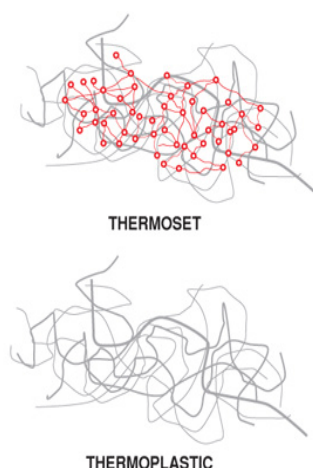
بلوری	بی شکل
<ul style="list-style-type: none"> • نقطه ذوب مشخص - ساختار متراکم منظم، موجب شکستن همزمان پیوندهای ثانویه می شود. • معمولاً کدر (مات) - اختلاف در شاخص انکسار بین دو فاز (بلوری و بی شکل) موجب تداخل بلوری می شود بطوری که ماده ی کدر یا مات بنظر می رسد. • آبرفتگی زیاد - در اثر سرد شدن ماده از حالت بی شکل، پلیمرها ساختاری متراکم و کاملاً آرایش یافته پیدا می کنند. این امر موجب تغییر حجم قابل توجه در نتیجه جمع شدگی (آبرفتگی) زیادی می شود. • مقاومت شیمیایی زیاد - ساختار کاملاً متراکم از حمله عمیق مواد شیمیایی به داخل ماده جلوگیری می کند. • مقاومت در برابر سایش و خستگی - ساختار یکنواخت منشأ خواص سایشی و خستگی خوب آنهاست. 	<ul style="list-style-type: none"> • محدوده گسترده تر نرمش: جنبش گرمایی مولکولها پیوندهای ثانویه ضعیف را می شکند. آهنگ این عمل در سرتاسر ساختار بی شکل متفاوت است و موجب گسترده شدن محدوده دمای نرمش می شود. • معمولاً شفاف - ساختار ضعیف نور را عبور می دهد، بنابراین ماده شفاف به نظر می رسد. • جمع شدگی (آبرفتگی) اندک - تمام گرمانرها در حالت بی شکل، فراورش می شود در اثر سرد شدن، آرایش بدون نظم مولکولها، موجب کمترین تغییر حجم و در نتیجه آبرفتگی اندک آن می شود. • مقاومت شیمیایی اندک - ساختمان نامنظم بسیار باز، موجب نفوذ عمیقتر مواد شیمیایی در ماده می شود که بسیاری از پیوندهای ثانویه را از بین می برد. • مقاومت کم در برابر سایش و خستگی - ساختار نامنظم ماده کمترین کمک را به بهبود خواص سایشی یا خستگی می کند.
مثالهایی از گرمانرهای بلوری و بی شکل	
بلوری	بی شکل
<ul style="list-style-type: none"> • پلی اتیلن (PE) • پلی پروپیلین (PP) • پلی آمید (PA) • استال (POA) • پلی استر (PETP, PBRP) • فلوروکربن ها (EET, OEA, PTEE, ETE) 	<ul style="list-style-type: none"> • پلی وینیل کلراید (PVC) • پلی استایرن (PS) • پلی کربنات (PMMA) • اکریلونیتریل - بوتادی ان - استایرن (ABS) • پلی فنیلین (PPO)

۱-۲-۲-۱ گرماسختها

پلاستیکهای گرماسخت با واکنش شیمیایی دو مرحله ای تهیه می شوند. در اولین مرحله، مولکولهای دراز زنجیرگونه ای شبیه آنچه برای پلاستیکهای گرمانرم ذکر شد، تشکیل می شود که همچنان قابلیت انجام واکنش دیگری را دارد. مرحله ی دوم واکنش یعنی ایجاد اتصالات عرضی بین زنجیرها در خلال عملیات قالبگیری و در اثر اعمال حرارت و فشار صورت می گیرد. قطعه ی حاصل، پس از سرد شدن، سخت به نظر می رسد، در حالی که از نظر ساختمانی شبکه مولکولی متراکمی در آن ایجاد شده است.

در مرحله ی دوم واکنش زنجیره های دراز مولکولی با پیوندهایی قوی به یکدیگر متصل می شوند و ماده نمی تواند در اثر حرارت، دوباره نرم و روان شود. اگر حرارت دادن افزایش یابد، ماده تخریب مولکولی شده و به زغال مبدل می شود. این رفتار را

می‌توان به تخم مرغ سفت شده در آب جوش تشبیه کرد که وقتی خنک می‌شود سخت است و در اثر حرارت دادن مجدد نیز، نرم نمی‌شود. پیوندهای عرضی بین زنجیره‌های پلیمر، پیوندهای شیمیایی قوی هستند به همین دلیل، مواد گرماسخت دو مشخصه‌ی بارز سخت و مستقل بودن خواص مکانیکی از حرارت را دارا می‌باشند. فنل فرم آلدید، اوره فورم آلدید، اپوکسیها و برخی از پلی استرها جز مواد گرماسخت محسوب می‌شوند. شکل ۱-۲ نمایی از پیوندهای موجود بین مولکولهای مواد گرمانرم و گرماسخت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲. تفاوت پیوندهای موجود در ساختار گرمانرمها (پایین) و گرماسختها (بالا) [۲]

۱-۲-۱-۳ مواد مرکب^۱

یکی از عوامل مهم توجه به پلاستیکها برای مصارف مهندسی امکان افزودن الیاف استحکام دهنده برای تقویت خواص آنهاست. مواد مرکب حاصل، برای کاربرد در صنایع هوایی و خودروسازی بسیار مناسب است. هم اکنون در آمریکا، این قبیل صنایع بیش از ۱۰۰۰۰ تن از مصرف تقریباً یک میلیون تنی مواد مرکب در سال را به خود اختصاص داده‌اند.

گرماسختها و گرمانرمها بازارهای فروش کاملاً مجزایی دارند و هر دو، با استفاده از الیاف استحکام دهنده مزایای بیشتری پیدا می‌کنند. این جدایی ناشی از اختلافات اساسی و بنیادین طبیعت این دو ماده از نظر خواص و مشخصه‌های شکل‌گیری است. سیستم‌های مواد گرماسخت با داشتن خاصیت تردی و شکنندگی در زمینه‌ی که ناشی از پیوندهای شبکه مانند مولکولی است نه تنها همراه الیاف استحکام دهنده‌ی بلند و غالباً مداوم به کار می‌رود بلکه می‌توان از آنها مانند سیالی با گرانروی کم برای سود بردن کامل از خواص الیاف پس از آغشتن آنها به رزین استفاده کرد. این مواد در زمینه‌های وسیعی از قالبگیری‌ها بدون تولید انبوه، کاربرد دارد. مواد گرمانرم، اگرچه به دلیل خصوصیات چقرمگی از مزایای استفاده از الیاف بلند محرومند، اما همراه الیاف کوتاه در صنایع قالبگیری با تولید انبوه، در مقیاس زیاد به کار می‌روند. امروزه این دو دسته مواد در رقابت با یکدیگر سعی در نفوذ به قلمرو همدیگر را دارند. در مواد مرکب از گرماسختها و الیاف بلند، به علت تلاش برای افزایش سرعت میزان تولید (مثلاً با

^۱ Composites

استفاده از قالبگیری تزریقی) طول الیاف کوتاهتر و در نتیجه خواص کلی کاهش می‌یابد. در حال که در گرمانرم‌ها به منظور دستیابی به خواص برتر و بالاتر از طریق افزایش طول الیاف بلندتر در قالبگیری تزریقی، تلاشی معکوس در جریان است. نهایتاً هدف آن است که قطعه‌ی پلاستیکی را به صورت کامل با استفاده از الیاف بلند تولید کنند. مانند مواد مرکب پلیمری پیشرفته که اخیراً^۱ در شرکت آی.سی.آی. (ICI) تولید شده است با گرمانرم‌های استحکام یافته یا الیاف شیشه که در آمریکا ساخته شده است. الیاف شیشه از مهمترین تقویت کننده‌های پلاستیک محسوب می‌شود، زیرا ترکیب خوبی را از نظر استحکام، سختی و قیمت تمام شده در قطعه ارائه می‌دهد. خواص مناسب مذکور (استحکام و سختی) با الیاف دیگری مانند الیاف آراماید (کولار)^۱ و الیاف کربن نیز قابل حصول است، اما هزینه‌ی تمام شده بالاست. آخرین ابداعات و پیشرفت‌ها مشتمل بر ترکیبی از الیاف مختلف است که به این ترتیب تعادل خوبی از خواص و قیمت تمام شده مناسب به دست می‌دهد. به عنوان مثال خاصیت مقاومت در برابر ضربه مواد مرکب مشتمل بر الیاف کربن با افزودن الیاف شیشه بهبود می‌یابد و متقابلاً^۲ سفتی پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف شیشه، یا الیاف کربن افزایش می‌یابد.

۱-۲-۴ اسفنج‌های ساختاری^۲

ظهور اسفنج‌های ساختاری، فرصت غیرمنتظره، اما جالب و مهیجی را برای طراحان پدید آورده است. بسیاری از پلاستیک‌ها با استفاده از مواد فراری که در جریان عملیات قالبگیری خارج می‌شود، ساختمانی سلولی به خود می‌گیرند که درونی اسفنجی و سخت با پوسته‌ای جامد و چقرمه دارد. این نوع ساختمان اهمیت و حساسیت ویژه‌ای در دنیای مواد یافته است و نسبتی عالی از مقاومت به وزن را ارائه می‌دهد.

اسفنجی شدن با توزیع گاز بی اثر در رزین مذاب قبل از عمل قالبگیری صورت می‌گیرد. گاز مذکور اغلب از اختلاط رزین و ماده‌ی شیمیایی فراری که در اثر گرما دیدن گاز متصاعد می‌کند با تزریق مستقیم گاز خنثی (معمولاً نیتروژن) تأمین می‌شود. بنابراین وقتی مخلوط گاز و رزین به سرعت به داخل قالب تزریق می‌شود، گاز انفجارگونه منبسط شده مواد را با فشار به تمام قسمت‌ها و حفره‌های قالب پخش می‌کند که در نتیجه، ساختمانی درون اسفنجی (سلولی) با پوسته خارجی سخت و جامد به دست می‌آید.

۱-۲-۵ الاستومرها^۳

کشسان‌های رایج، یکی دیگر از اعضای خانواده‌ی پلیمرها هستند، زیرا از مولکولهای دراز زنجیرگونه تشکیل شده‌اند. این زنجیرها به صورتی نامنظم، پیچ خورده و به هم تابیده هستند. از این رو، انعطاف پذیری بالایی را به ماده داده امکان تغییر شکل زیادی را فراهم می‌کند. کشسان‌ها در حالت خام و پخت نشده، پس از تغییر شکل زیاد قابلیت برگشت به حالت اولیه را بطور کامل

¹ Kevlar

² Structural foam

³ Elastomers