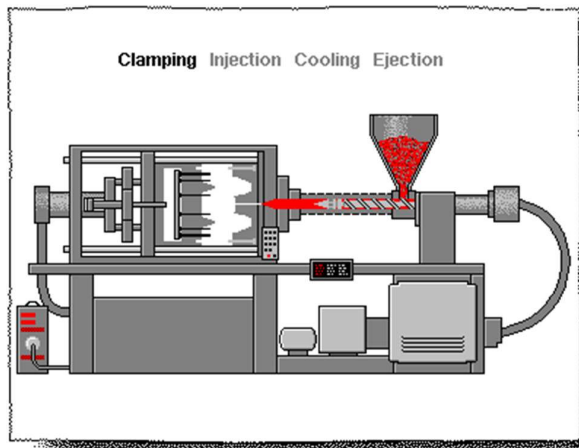


مواد و روشهای ساخت ۳

رشته طراحی صنعتی



تالیف و تدوین:

مهندس محرم قهرمانی درویش

دانشگاه سمنان

دانشکده هنر

گروه طراحی صنعتی

فهرست عناوین

- ۱- مقدمه
- ۲- تعریف پلاستیک
- ۳- تعریف پلیمرها یا بسپار
- ۴- تاریخچه
- ۵- طبقه بندی بسپارها یا پلیمرها از دید گاههای مختلف
- ۶- خواص عمومی پلاستیک ها (فیزیکی و مکانیکی)
- ۷- مقدمه ای بر پلیمر های صنعتی
- ۸- گروههای مهم پلیمر های مهندسی
- ۹- روشهای ساخت در پلاستیک های ترموست و ترموپلاست
 - ۹-۱- تزریق پلاستیک ها
 - ۹-۱-۱- فرآیند تزریق پلاستیک ها
 - ۹-۱-۲- ساختمان عمومی قالب ها
 - ۹-۱-۳-۱- سیکل قالب گیری
 - ۹-۲- فرآیندهای اکستروژن
 - ۹-۳- فرآیند قالب گیری بادی
 - ۹-۴- و کیوم ترموفرمینگ
 - ۱۰- معرفی مواد مرکب

۱- مقدمه

از روزی که بشر یاد گرفت زندگی خود را با ساختن ابزار های مورد نیاز اش بهبود ببخشد و از ابزار برای شکار، تامین سرپناه و امنیت، کشت و کارو تسهیل حمل و نقل استفاده نماید تامین مواد اولیه برای ساخت و تولید ابزار نیز از مسائلی بود که با آن مواجه بود.

شاید برای انسان اولیه، تنها مسئله در تامین مواد اولیه ساخت و سازاش، انتخاب مواد بهتر از دل طبیعت بود و جدا کردن و تمایز قائل شدن بین این تنه درخت با آن یکی بوده است، اما رفته رفته با افزایش جمعیت و توانائی او در طراحی و ساخت ابزار های پیش رفته تر و ورود فاکتورهائی همچون اقتصاد، محدودیت کم^۱ مواد اولیه، ضعف و محدودیت مواد اولیه طبیعی در مقابل عواملی همچون حرارت، بارگذاری های سنگین و مداوم، سایش، تنشهای فشاری، کششی، پیچشی و ضریب اصطکاک بسیار بالا و... او را برآن داشت که دنبال مواد جدیدتری بگردد. سپس با استخراج فلزات شروع به ساخت ابزار با مواد جدید که قابلیت های بهتر و منحصر به فردی را داشت نمود اما فزات به طور خالص دارای محدودیتهای زیادی بودند که روح بلند پرواز او را ارضاء نمی کرد در مرحله بعدی شروع به تلفیق فلزات نمود و انواع جدیدی از مواد را به دست آورد و رفته رفته پی برد که با افزودن عناصر غیر فلزی به مواد فلزی آلیاژهای خارق العاده ای را بسازد و بسیاری از رویاها و خواسته هایش را به واقعیت تبدیل نماید و به وسیله فلزات انقلابی در صنعت به وجود آمد و فولاد و سایر فلزات زندگی بشری را دگرگون کرد و کارخانجات و سیستم های تولیدی به راه افتاد و تولید انبوه پا گرفت.

اما با افزایش تقاضا برای محصولات، به زودی متوجه شد فلزات و در رأس آن فولاد دارای معایب فراروانی همچون سنگین وزن بودن، مصرف بالای انرژی در استخراج، حمل و نقل و فرآورش و هزینه بالا و محدودیت در شکل دهی است که او را از رسیدن به اهداف اش باز می دارد بنابراین رو به سوی مواد اولیه با قابلیت های بالتر گذاشت. و این رویکرد همزمان با گسترش استخراج و استفاده از مواد نفتی و به تبع آن مواد پتروشیمی بود.

اکنون مواد پلیمری به قدری در صنعت رسوخ کرده است که کسی نمی تواند به دنیای بدون پلیمرها حتی فکر کند

هرگوشه از زندگی و تمدن امروز بشری نگاه کنی حضور مواد پلیمری چنان پررنگ است که با حذف آنها از مصنوعات امروزی هیچ سیستمی قادر به کار نخواهد بود و هر روز با گسترش علم مهندسی پلیمر انواع جدیدی از آنها با قابلیت های فوق العاده ای به بازار عرضه می گردد.

۲- تعریف پلاستیک:

در فرهنگ عامه واژه پلاستیک برای توصیف رزینها و پلیمرهایی به کار می رود که از اتمهای هیدروژن، کربن، نیتروژن، اکسیژن، فلور، سیلیسیم، گوگرد و کلر تشکیل شده و منبع غالب آنها نفت و یا گاز طبیعی است.

اما در علم مکانیک پلاستیک مرحله ای است که در شکل ماده، تحت تاثیر نیرو، تغییرات ماندگار اتفاق بیفتد. دلیل اطلاق نام پلاستیک به این مواد آن است که شکل آنها در دمای بسیار اندک به آسانی تغییر می کند. بر خلاف فلزات که برای تغییر شکل نیازمند دمای بسیار زیاد است. گرچه واژه پلاستیک برای توصیف عمومی این مواد به کار می رود اما واژه ای کلی است که اشاره به ماده خاصی ندارد. در دایره این مواد اگر به دنبال ماده خاصی باشیم باید از نام شیمیائی و یا تجاری آن استفاده کنیم که منحصر به رزین و یا پلیمر خاصی خواهیم رسید.

در محدوده فلزات برای اینکه بتوانیم به ماده مورد نظر خود و با خواص مورد انتظار دست پیدا کنیم از ترکیب فلزات با نسبتهای مختلف و از روند های متفاوت فراوری استفاده می کنیم و آلیاژهای فلزی را به وجود می آوریم و همه میدانیم که آلیاژ سازی سابقه ای دیرینه در جهان دارد. در پلاستیکها نیز برای رسیدن به خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوب آنها با هم مخلوط می شوند دامنه محصولات پلیمری آنقدر وسیع است که نمی توان نام شیمیائی آنها را به خاطر سپرد به همین دلیل از نام تجاری آنها در صنعت استفاده می شود

طبقه بندی رزینها آسان نیست زیرا به گروههای مختلف تعلق دارند در درون هر گروه رزینها و ترکیبات خاصی وجود دارد که در حین مخلوط شدن در بین دو یا چند گروه قرار می گیرد رزینها معمولا بر اساس حروف الفبا طبقه بندی می شوند این طبقه بندی شاید مناسب باشد اما به دست آوردن درک و فهم کاملی از رزینها کمک چندانی به ما نمی کند

۳- تعریف پلیمر یا بسپار:

واژه " بسپار " یک واژه فارسی است که از دو بخش بس(بسیار) و پار(پاره، قطعه) تشکیل شده است این واژه به جای واژه یونانی " پلیمر " که از دو بخش پلی(بسیار) و مر(قسمت، پاره یا قطعه) میباشد استفاده میگردد.

بسپار یا پلیمر ماده ای شامل مولکولهای بزرگی است که از واحدهای کوچک تکرار شونده که " تکپار " یا مونومر نامیده می شود ساخته شده است.

۴- تاریخچه:

بشر نخستین آموخته بود که چگونه الیاف پروتئینی پشم و ابریشم و الیاف سلولزی پنبه و کتان را عمل آورده و پس از رنگ کردن آن به تهیه منسوجات از آنها پردازد، یا با استفاده از بسپارهای طبیعی مانند قیر، پوشش خارجی لاک پشت، شاخ حیوانات و صمغ درختان (که در ساخت کهربا و لاستیک استفاده می شده است) با استفاده از حرارت و اعمال فشار وسائل تزئینی بسازد . بومیان امریکای مرکزی از لاستیک طبیعی برای ساختن اشیاء کشسان و پارچه های ضد آب استفاده می کردند. اولین کاربرد تجاری بسپارها در سال ۱۸۴۳ با کشف کائوچو آغاز گردید که با انجام عملیات شیمیائی بهبود دهنده بر روی آن، محصولات زیادی تولید گردید. باکلیت (Bakelite) اولین بسپار مصنوعی بود که در سال ۱۹۰۹ ساخته و پس از آن الیاف نیمه مصنوعی ریون (Rayon) در سال ۱۹۱۱ ساخته شد.

با شروع جنگ موادی مثل نایلون، اکریلیک، نئوپرن، لاستیک بوتادین استایرن (SBR)، پلی اتیلن و سایر بسپارها جایگزین مواد طبیعی کمیاب گردیدند. از آن زمان سیر رشد صنایع بسپار به صورت تصاعدی ادامه یافت.

۸۰ در صد مواد پایه پتروشیمی تا سال ۱۹۸۰ در کشورهای ایالت متحده آمریکا، اروپای غربی و ژاپن تولید می شد که ضمن تامین نیاز داخل به دیگر مناطق نیز صادر می شد. از آن پس ساختار جهانی صنعت پتروشیمی، تغییرات قابل توجهی پیدا کرد کشورهای که از منابع عظیم نفت و گاز طبیعی برخوردار بودند مانند کشورهای خاورمیانه و کانادا ، به منظور افزایش ارزش افزوده منابع خود شروع به تاسیس واحد های پتروشیمی نمودند. از طرفی کشورهای سنگاپور و کره جنوبی و تایوان به منظور تامین نیاز صنایع داخلی و خود ونیز صادرات به کشورهای نظیر چین، ظرفیت های زیادی برای تولید مواد پایه پتروشیمی ایجاد کردند رشد مصف بالای ناشی از رشد سریع جمعیت برخی کشورها نظیر چین وهند، تقاضای مواد پایه این کشورها را افزایش داد. راه اندازی واحدهای پتروشیمی در مناطق دیگر جهان که یا دسترسی به خوراک این صنعت را داشته اندمانند عربستان سعودی و و یا خود بازار هدف این محصولات بوده اند مانند چین الگوی تولید و تجارت جهانی را تغییر دادند. به طوریکه سهم ظرفیت مناطق صنعتی جهان (ایالات متحده آمریکا، اروپای غربی و ژاپن) از تولید مواد پایه پترو شیمی از ۸۱ درصد در سال ۱۹۷۰ به ۶۴ در صد در دهه ۱۹۸۰ و ۶۳ در صد در دهه ۱۹۹۰ رسیده که پیش بینی میگردد این رقم در سال ۲۰۱۳ میلادی به ۳۰ در صد کاهش یابد. در حال حاضر ظرفیت جهانی مواد پایه پتروشیمی از قبیل اتیلن، پروپیلن، بنزن، متانول، زایلین ها، تولوئنو بوتادین بالغ بر ۴۴۹ میلیون تن است.

ویژگی های یک قطعه ی پلاستیکی

از سال ۱۸۶۹ که اولین پلاستیک با نام " سلولز نیترات " بدست آمد، تاکنون تحول عظیمی در این صنعت صورت گرفته- است. رشد تولید انواع پلاستیک و حضور آن در زندگی روزمره، بصورتی است که تقریباً ادامه زندگی بدون آن ممکن نمی باشد. این فرض هنگامی تحقق پیدا می- کند که بدانیم از خودکار، کابینت ، تلویزیون، میز تحریر، صندلی، پایه ی چراغ و تلفن گرفته تا حتی قاب عینک، از این نوع پلیمر ساخته می شوند. تنها در ایالت متحده آمریکا در آغاز دهه ۸۰ میلادی رقمی معادل ۱۴ میلیون دلار، رزین پلاستیکی برای تهیه محصولات مختلف تولید شده است.

پلاستیکها همان پلیمرهای مصنوعی هستند که تحت فشار و دمای پایین، قابل ذوب بوده و شکل پذیر می باشند. طیف وسیع ویژگیها و خصوصیات، جایگاه خاصی برای این پلیمر ایجاد کرده است. بطوری که بعضی از آنها غیرقابل انعطاف یعنی قابل تراشکاری بوده و برخی دیگر نرم و انعطاف پذیر هستند که در مصارف بسیار ظریف می توان از آن استفاده کرد. این خصوصیت و ویژگی منحصر بفرد باعث شده که پلاستیکها جایگزین مواد طبیعی مشابه از جمله فلزات، شیشه، چوب، الیاف و... شود.

ویژگی پلاستیکها:

ویژگی های منحصر این نوع پلیمر، آن را در رده پرمصرف- ترین مواد در جهان قرار داده است. این ویژگی ها عبارتند از:

- سبکی آنها نسبت به موادی چون فلزات.

- عایق بودن آنها در برابر الکتریسیته که سبب استفاده فراوان از این پلیمر در صنایع الکتریکی و الکترونیکی مانند روکش انواع سیم ها، کابل ها، وسایل و ابزار الکتریکی، کلیدها، سرپیچ ، پریز و... شده است.

- شفافیت برخی از پلاستیکها باعث جایگزینی شیشه توسط آنها شده است؛

- قابلیت رنگ پذیری، که آنها را قابل استفاده در تولید قطعات کرده است.

- مقاومت بالای برخی از این نوع پلیمرها امکان استفاده از آنها را در شرایط جوی مختلف میسر کرده است.

- مقاومت بالا در برابر خوردگی مواد شیمیایی باعث کاربرد آنها در صنایع شیمیایی، غذایی و بهداشتی شده است.

- میکروب ها، باکتری ها، انگل ها، قارچ ها و جلبک ها توانایی رشد روی پلاستیک ها را ندارند. بنابراین می توان از پلاستیک ها در ساخت وسایل پزشکی و جراحی، دندانپزشکی، صنایع داروسازی و... استفاده کرد.

- عایق بودن در برابر حرارت، کاربرد این نوع پلیمر را افزایش داده است چراکه از آن در ساخت اشیایی که در مجاورت حرارت قرار گرفته، اما خود نباید گرم شوند، مانند فرمان اتوموبیل، دسته ظروف، میز، صندلی و... می توان استفاده کرد.

- و سرانجام، ارزانی، سرعت بالای ساخت و قیمت پایین مواد اولیه است که باعث استفاده ی گسترده از پلاستیکها می شود

۵- طبقه بندی بسپارها یا پلیمرها:

بسپارها را از دیدگاههای مختلف می توان طبقه بندی نمود مانند: صنایع، منبع، اساسی یا مهندسی، عبور نور، واکنش حرارتی، واکنش های پلیمرزاسیون، ساختمان مولکولی و ساختمان کریستالی.

۱-۵- طبقه بندی رزین ها و پلیمرها از نظر منبع

اما رزین ها و پلیمرها در حالت کلی به سه دسته اصلی تقسیم می شوند :

۱-۶-۱- بسپارهای طبیعی مانند پروتئین، چوب، کتان، مو، پشم، لاستیک خام (کائوچو) و رزینهای مانند ژلاتین که از موجودات زنده به دست می آید

۲-۶-۱- بسپارهای طبیعی اصلاح شده مانند ریون

۳-۶-۱- بسپارهای مصنوعی مانند پلی اتیلن، پلی آمیدها و...

۱-۶- طبقه بندی بسپارها از نظر اثر پذیری در مقابل حرارت

بسپارها از نظر اثر پذیری در مقابل حرارت به دو دسته مهم تقسیم می شوند:

۱- گرمانرمها:

گرمانرم یا ترموپلاستیک (Termoplastic) به بسپارهایی گفته می شود با افزایش دما و بدون تغییر شیمیایی، ذوب می شوند. این پلیمر هارا می توان به دفعات ذوب و دوباره جامد نمود. این بسپارها در حالت مذاب مانند مایعات قابلیت جاری شدن را دارا هستند و این خاصیت از نظر متد های تولید یک مزیت به حساب می آید

۲- گرما سختها:

گرما سخت یا ترموست (Termoset) به بسپارهایی گفته می شود که در اثر اعمال حرارت در آنها پیوند های عرضی با واکنشهای شیمیایی ایجاد می شود و در نتیجه وزن مولکولی متوسط آنها افزایش پیدا کرده و به حالت یکپارچه صلب در می آیند. این بسپارها هنگام حرارت دهی ذوب نشده، بلکه در دماهای بسیار بالا به صورت برگشت ناپذیری تجزیه می شوند.

۲-۶- از نظر صنایع مادر بسپارها به پنج گروه ذیل تقسیم می شوند:

a- لاستیک

b- پلاستیک

c- الیاف

d- پوشش یا رنگ ها

e- چسب

۳-۷- از نظر خواص و کاربرد و قیمت

➤ پلاستیک های عمومی

➤ پلاستیک های مهندسی

➤ پلاستیک های کاربردی خاص

مقدمه ای بر پلیمرهای صنعتی

۱- پلیمرهای ترموپلاستیک (بسیارهای گرمانرم)

۲-۱ طبقه بندی پلیمرها بر مبنای کارایی و شرایط کاری آنها در عمل

در طبقه بندیهای معمول انجام شده بر روی رزینهای ترموپلاستیک، پلیمرها را می توان بر اساس کارایی و کاربردهایشان در عمل، در قالب چهار خانواده ی اصلی، به گروه های مختلف تقسیم نمود:

۱- نخستین گروه، رزینهای تجاری (The commodity resins) می باشند که ویژگیهای زیر را دارند:

الف) حجم مصرف بالایی دارند،

ب) کاربردهای گسترده ای در شکل نهایی خود دارند،

ج) قیمت مواد اولیه آنها پایین است و

د) کارایی خواص محدودی دارند بدین معنی که در حین کار و در هر شرایط کاری خواص محدودی دارند پلی استایرن (PS)، پلی اتیلن (PE)، کوپلیمر یا همبسیار استایرن-اکریلونیتریل (SAN)، سلولز نیترات (CN)، پلی بوتن (PB)، بیس مالمیید (PMI)، پلی استرهای اشباع نشده (UP) و پلی وینیل کلراید (PVC).

۲- گروه دوم به عنوان رزینهای حد واسط (intermediate resins) شناخته شده اند. رزینهای این گروه عموماً خواص مکانیکی، حرارتی، شیمیایی و الکتریکی ای دارند که نسبت به رزینهای گروه نخست بالاتر است. وقتی که اصلاحات شیمیایی بر روی آمیزه انجام می شود تا خواص مکانیکی ویژه ای تغییر یابد، خواص بستر یا زمینه ی پایه ثابت باقی می ماند. این طبقه ی حد واسط از رزینها شامل موارد زیر می باشد: اکریلیکها (Acrylics)، اولفین ترمو پلاستیک (TPO)، پلی فنلین اکساید (PPO)، ترموپلاستیکهای ولکانیزه (TPV)، لاستیک قابل فرآیند مذاب (MPR)، پلی استایرن با مقاومت در برابر ضربه ی بالا (HIPS)، یونومرها، ملامین فرمالدئید (MF)، پلی زایلین، پلی پروپیلن (PP)، اکریلونیتریل-بوتا دی ان-استایرن (ABS)، استایرن-اکریلونیتریل (SAN)، پلی فنیل اتر (PPE)، پلی اوره تان (PUR)، هیبرید یورتان، پلی استر آلکید (PAK)، همبسیار دسته ای استایرن - TPE و پلی اتیلن با وزن مولکولی بالا (UHMWPE) و

۳- سومین گروه، رزینهای مهندسی می باشند. سطح خواص مکانیکی که نوع مهندسی رزین را تعیین (Engineering grade) می کنند تا حدودی اختیاری است: استحکام کششی آنها، نباید از ۷,۰۰۰ psi پایین تر باشد و حداقل مدول الاستیسیته باید ۳۵۰,۰۰۰ psi باشد. این دو کمیت، معیارهای مناسب و منطقی بدین منظور می باشند. رزینهای مهندسی به لحاظ بنیادی، رزینهای اصلاح نشده ای می باشند که خواص آنها از طریق آمیزه سازی (compounding) بهبود یافته است.

یک رزین آمیزه سازی شده به عنوان ماده ای تعریف می شود که از اجزای زیر تشکیل شده است:

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

۲- افزودنیها،

۳- یک جزء تقویت کننده همانند لیف شیشه یا مواد معدنی،

۴- پایدار کننده های گرمایی و فرابنفش (Heat and UV stabilizers)،

۵- به تأخیر اندازنده های شعله (Flame retardants).

و سایر افزودنیها...

چندین نوع از رزینهای آمیزه سازی شده برای بهبود خواص ویژه ی لازم برای هر کاربردی، فرموله شده اند. یک رزین تقویت شده با لیف شیشه ای متداول شامل ۱۰ تا ۵۵٪ لیف شیشه ای می باشد. طول الیاف شیشه ای در حدود ۰,۱۲۵ می باشد و پوششی با یک ماده ی مزدوج کننده به الیاف شیشه اضافه شده است تا پیوندی را با ماتریس تشکیل دهد.

رزینهای مهندسی عبارتند از: استال، پلی آمید(نایلون، PA)، پلی کربنات (PC)، پلی بیوتین ترفتالات (PBT)، پلی اتیلن ترفتالات (PET)، پلی پروپیلن تقویت شده با لیف شیشه ای، کوپلیمر دسته ای پلی استر - TPE، سیلیکون قالبگیری تزریقی مایع (LIM)، دی آلایل فتالات، اپوکسی (EP)، و سیانات.

۴- 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 می باشد که طول عمر کاری محصول را بیشتر می کند، آنها همچنین خواص خود را در فرکانسهای الکتریکی بالاتر بدون از دست دادن خواص مقاومت شیمیایی شان، حفظ میکنند وقتی که در معرض تماس با عناصر خورنده قرار می

گیرند. این نوع رزینها، همچنين به طور ذاتی شعله را به تأخیر می اندازند به طوری که با افزودنی ۹۴-UL، میزان تغییرات رده بندیهای قابلیت اشتعال در فاصله ۰ V تا ۵ V (۵-۰ Volt) تغییر می کند.

رزینهای مهندسی با کارایی بالا شامل نایلون دما بالا (HTN)، پلیمرهای بلور مایع (LCP)، پلی سولفون (PSU)، فلئورو پلیمرها، پلی اترایمید (PEI)، پلی آریل انزکتون (PAEK)، پلی فنیلن سولفاید، سیلیکون و پلی ایمید (PI) می باشد.

با چند استثنای کم، رزینهای مهندسی با کارایی بالا نسبت به بسیاری از رزینهای ترموپلاستیک مهندسی، استحکام ضربه ای آیزود بالاتری ندارند.

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

ارزیابی کلی انواع تجاری گوناگون از مواد پلیمری، شامل طراحی محصول و ملاحظات مربوط به فرآیند نمودن آنها می باشد. 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 می آیند و مطابقت می کنند، با هم مقایسه می شوند. ولیکن، طراحان محصول باید انتخاب رزین خود را برپایه ی سایر ویژگیهای مهم رزینها، همانند انعطاف پذیری طراحی قطعات و کارایی فرآیند انجام دهند. عموماً بیشتر رزینها، ویژگیهای فرآیندی متفاوتی دارند که می تواند مشکلات قالبگیری و یا شکست و ایجاد نقص و عیب در قطعه را در پی داشته باشند. طراحی قطعه و ویژگیهای فرآیند، وقتی که خواص رزین بین انواع تجاری مختلف با هم مطابقت می کنند، می تواند بسیار پراکنده و گسترده باشد.

وقتی افزودنیهایی همانند به تأخیر اندازنده های شعله و پایدارکننده ها همراه با رزین آمیزه سازی می شوند، ویژگیهای مربوط به ماتریس (زمینه) اصلاح می شوند که این کار، گاهی منجر به از دست دادن برخی از خواص می گردد. بعلاوه، وقتی که الیاف شیشه یا مواد معدنی به مخلوط آمیزه اضافه می شود تا خواص مربوط به استحکام مکانیکی بهبود یابد، قابلیت فرآیند نمودن (Processability) کامپاند (مخلوط آمیزه سازی شده) دشوارتر می شود. از آنجایی که رئولوژی (Rheology) یا ویسکوزیته محصول آمیزه کاری شده، زیاد می شود، سرعت جریان مذاب (Rheology) کاهش می یابد و در نتیجه فشارهای تزریقی و درجه حرارت مذاب یا قالب بالاتری برای اختلاط، فرآیند نمودن و شکل دهی مورد نیاز خواهد بود.

اقتصاد درگیر در انتخاب رزین گرمانرم، پیچیده است، زیرا قیمت رزین معمولاً، مهمترین عامل می باشد. وقتی که از یک رزین گرمانرم برای قالبگیری تزریقی استفاده می شود، نوسان ابعادی بسیار اندکی در محصول نهایی دیده می شود.

شرایط مهندسی زیر در کاهش قیمت‌های فرآیند ساخت و تولید اساسی می باشند :

برای تولید اجزای قالبگیری شده با بیشترین قابلیت تولید (Maximum polymers)، لازم است شکل هندسی قطعه، طراحی شود،

برای چرخه ها یا سیکل‌های کاری سریع و قالبگیری بیشترین تعداد از حفرات به طور خودکار، قالبی دقیق بایستی طراحی گردد،

انتخاب بهترین نوع، بهترین ظرفیت و بهترین شرایط عملی و اجرائی ماشین قالبگیری تزریقی، اهمیت زیادی دارد،

برای فرآیند قالبگیری تزریقی، لازم است شرایط کاری و عملیاتی مؤثری به لحاظ ماشین آلات دستگامی فرآیندی (Setup conditions)، برای رزین مورد استفاده قرار گیرد و

همچنین لازم است، کارکنان و تکنسین‌های کارخانجات تولیدی که قرار است با ماشین آلات قالبگیری مرتباً به طور روزانه کار کنند و مسئول حفظ، تعمیر و نگهداری آنها باشند، بخوبی آموزش داده شوند که این کار با استفاده از یک برنامه ی مدون آموزشی فنی به روز شده و مطابق با آخرین تغییرات زمان، توسط یک فرد آموزش دهنده کاملاً آگاه، متبحر و واجد شرایط لازم انجام می شود.

با افزایش حجم تولید و شرایط تولید محصول با دقت و حساسیت پایین تر، هزینه های مواد به طور فزاینده ای، قابل توجه، معنی دارتر و مهم می شوند. در اینجا، قیمت رزین بیانگر درصد بالایی از هزینه ی تمام شده برای تولید محصول نهایی با قطعات قالبگیری شده می باشد. به عنوان مثال، کالاهای عمومی همانند بدنه های ماشین‌های اداری، لوله کشی خانه ها، شر آبها، شیرها، لوله ها، سردوشها، ظروف آشپزخانه و قطعات مربوط به لوازم خانگی، پوششهای داخلی یا آسترهای درون یخچال، پره های متحرک ماشین لباسشویی و بدنه های جاروبرقی محصولاتی هستند که قیمت آنها بسیار حساس است. برای چنین کاربردهایی، قیمت رزین به لحاظ تجاری بسیار رقابتی می گردد و به یک جنبه ی پراهمیت در فرآیند ساخت و تولید تبدیل می شود.

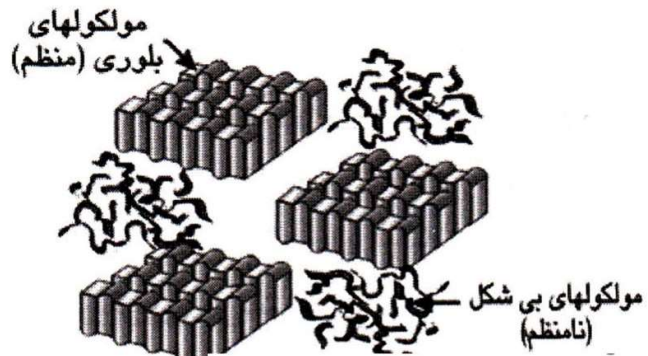
مواد پلیمری، توده ای تجمع یافته از ساختارهای مولکولی با زنجیر طویل می باشند. دو حالت مختلف در این دسته از مواد وجود دارد :

۱- حالت اول که در آن درشت مولکولهایی قرار می گیرند که در آنها بیشتر مولکولها در ترکیبات پلیمری در یک ساختار بلوری، نظم فضایی یافته، مرتب شده و آرایش یافته اند که به پلیمرهای کریستالی (Crystalline Polymers) موسومند و



ساختار مولکولی پلیمر بی شکل (آمورف)

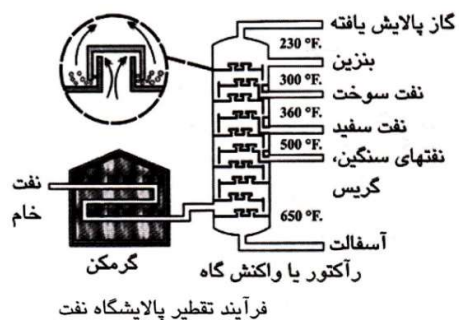
۲- حالت دوم که در آن پلیمرهای موسوم به پلیمرهای آمورف یا بی شکل (Amorphous polymers) قرار می گیرند. در این نوع از بسپارها، شکلی از زنجیرهای مولکولی انعطاف پذیر مشاهده می شود که با یکدیگر درگیر شده اند و درهم گره خورده اند (Entangled)، و نظم و آرایش فضایی کمتری دارند. در هر صورت، هیچ ماده ی پلاستیکی بلوری را نمی توان یافت که فقط به تنهایی از خود ساختار کریستالی نشن دهد بلکه در هر ماده ی پلاستیکی ساختاری ادغامی دیده می شود که در آن مخلوط یا ترکیبی از هر دو نوع ساختار وجود دارد یعنی در آنها بخشها یا "نواحی کریستالی" و بخشه یا "نواحی بی شکل" در کنار هم وجود دارند. نسبت بخشهای کریستالی به کل بخشهای موجود در هر ماکرومولکول به "بلورینگی" (Crystallinity) آن پلیمر موسوم است. بخشهای کریستالی نسبت به قسمتهای بی شکل در پلیمرها، از نظم فضایی بیشتری برخوردارند.



ساختار مولکولی پلیمر نیمه بلورین

۴-۱ فرآیند ساخت و تولید پلیمرهای صنعتی

ترکیبات پایه ی پلیمرهای صنعتی از مواد آلی شامل اتمهای کربن و هیدروژن موسوم به هیدروکربنها به دست می آیند. تولیدکنندگان رزین، از واکنشهای شیمیایی برای تبدیل خوراک پایه (Basic feedstocks) یا منومرهایی که از گاز طبیعی، نفت خام، زغال سنگ و... مشتق شده اند به پلیمرهای صنعتی، بهره می گیرند. نفت، منبع اصلی آلکانها و سیکلوآلکانها می باشد. در نوعی فرآیند تقطیر در پالایش نفت ابتدا نفت خام از طریق فرآیند تقطیر، به برشهای متفاوت و مجزایی جداسازی می شود تا به ترتیب مواد زیر بدست آیند: برشهای سبک در بالای برج تقطیر و برشهای سنگین در بخشهای پایین تر برج جداسازی می شوند. گاز، اترنفت، بنزین، نفت سفید، نفت سوخت، روغنهای روان کننده، گریسها، واکس پارافین و آسفالت، برشهایی هستند که به ترتیب از بالای برج تقطیر به سمت پایین آن بدست می آیند. بعضی از برشهای نفتی سنگین با نقطه ی جوش بالا، در معرض فرآیندهای خرد شدن یا کراکینگ قرار می گیرند تا در طی آن مولکولهای بزرگتر به مولکولهای کوچکتر شکسته شوند و در نتیجه، درصد برش بسیار گرانبه، یعنی بنزین در آن برش، افزایش می یابد. علاوه بر این، مولکولهای کوچک نیز می توانند به مولکولهای بزرگتر، تبدیل گردند که به این فرآیند آلکیل دار شدن یا الکیلاسیون گفته می شود. گروه های الکیل یا همان بنیان الکیل، شاخه های هیدروکربنی می باشند که تعداد اتمهای هیدروژن آنها از آلکان مربوطه یکی کمتر است.

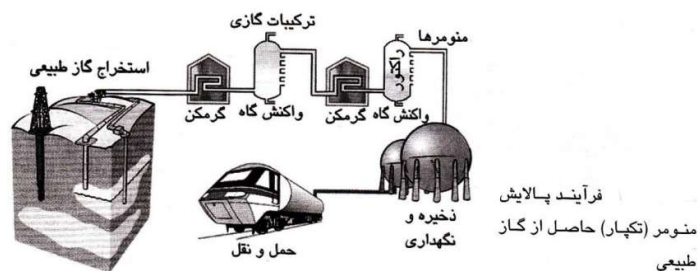


گازها محصولات جانبی این فرآیندها می باشند که همراه با برشهای نفت و مواد بدست آمده از برشهای دیگر، خوراک پایه را برای فرآیند ساخت و تولید پلیمرهای صنعتی پدید می آورند.

گاز طبیعی و نفت خام، عمومی ترین و اقتصادی ترین خوراکیهایی هستند که امروزه از آنها استفاده می شود. زغال سنگ، منبع عالی دیگری است همانند روغن کرچک یا روغن درخت جلا وجود دارند که در نتیجه ی زراعت نباتات از گیاهان زنده بدست می آیند که همچنین قابل سازگاری و مناسب می باشند.

ساختار مولکولی گاز اتان (C_2H_2) در اثر واکنش شیمیایی، تحت تأثیر حرارت و فشار به مونومر اتیلن تبدیل می شود که یکی از مهمترین خوراکیها یا مواد آغازگر در صنعت پلاستیک به شمار می رود.

از این هیدروکربن های پایه، خوراکیهایی بدست می آیند که به منومرها یا مولکولهای واحد کوچک (تکپار) موسومند. پلیمریزاسیون، مولکولهای کوچک به یکدیگر متصل می شوند تا مولکولهای طولیتری را پدید آورند که در حال بزرگ و بزرگتر شدن می باشند به لحاظ شیمیایی، واکنش پلیمریزاسیون منومر را به پلیمر (تکپار را به بسپار) تبدیل می کند.

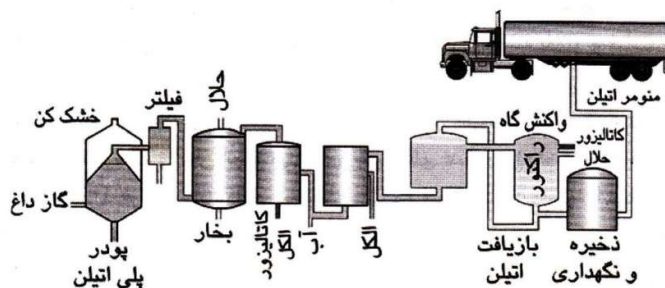
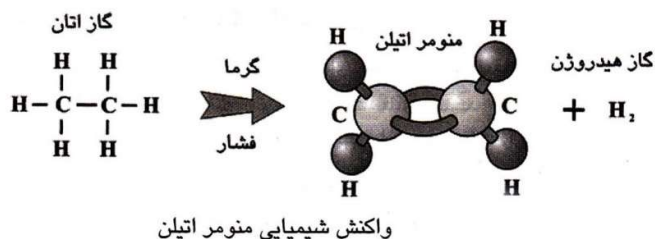


یک منومر تنها می تواند در ساخت و تولید دامنه ای از پلیمرهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد به نحوی که هر یک از پلیمرهای ساخته شده، خواص و ویژگیهای منحصر به فرد و جداگانه ی خاص خود را داشته باشد. یک پلیمر را می توان به عنوان ترکیببیا وزن مولکولی بالا تعریف کرد به طوری که شامل واحدهای سازنده تکراری نسبتا ساده ای می باشد.

اساسا برای تولید محدوده ی وسیعی از پلیمرهای صنعتی، انعطاف پذیری بسیار زیادی در فرآیند ساخت و تولید پلاستیکها، وجود دارد.

مهمترین عوامل در تعیین خواص پلیمرها عبارتند از مسیری که در طی آن مولکولهای کوچک، به یکدیگر متصل شده و مولکولهای بزرگ را با ترتیب و آرایش ساختاری خاصی پدید می آورند. به عنوان مثال، بصورت توده ی تجمع یافته و انباشته در فاصله ی بسیار نزدیکی نسبت به هم قرار می گیرند یا بوسیله ی

برآمدگیها و برجستگیها یا شاخه های جانبی از هم فاصله می گیرند، پدیده ای که به ممانعت فضایی میان گروه های شاخه ای موسوم است و با بی نظمی بیشتری در ساختار مولکولی توأم است. (مترجم) عامل دیگر، طول مولکولها در زنجیر پلیمری است. نوع مولکولها نقش بسیار مهمی را در هندسه ی زنجیرهای پلیمری و آرایش فضایی آنها و در نهایت خواص نهایی پلاستیک ایفا می کند. به عنوان مثال جانشین سازی گروه های متیل، حلقه های بنزنی یا اتمهای کلراید با اتمهای هیدروژن می تواند خواص نهایی و نیز ساختار مولکولی - فضایی پلیمر سنتز شده را تا حد بسیار زیادی تغییر دهد. پلیمریزه کردن دو یا چند منومر مختلف در کنار یکدیگر را همبپارشی یا کپلمریزاسیون می گویند. این فرآیند نقش تعیین کننده ای را در موفقیت بسیاری از پلیمرهای صنعتی ایفا نموده است، همچنین وارد کردن افزودنیهای شیمیایی گوناگون، اصلاح کننده ها و تقویت کننده ها در بستر پایه ی پلیمرها و آمیزه سازی آنها، نقش اصلی و عامل مهمی در ساخت و طراحی محصولات پلیمری جدید و پلاستیکها به شمار می رود.



۵-۱ آمیزه سازی یا کامپاندینگ پلیمرهای صنعتی

فرآیند آمیزه سازی، بیشترین سهم را در توسعه ی آمیزه های جدید و فرمولاسیونهای مربوطه در صنعت پلاستیک داشته است. ترتیب بی انتهایی از افزودنیها، رنگین کننده ها، پرکننده ها (Fillers) و تقویت کننده ها به تولیدکنندگان رزین این اجازه را می دهد که خواص ویژه ای را به پلیمرهای پایه ببخشند، فرصتهای لازم را برای کاربردهای جدید و نیز کاستن از قیمتهای پلیمرهای صنعتی که محصول نهایی می باشند، فراهم آورده و

گسترش بدهند. آمیزه سازی یا کامپاندینگ بر شیمی پلیمریزاسیون مبتنی است که به منظور ترکیب کردن یک پلیمر پایه با اصلاح کننده ها، افزودنیها و پلیمرهای دیگر برای ایجاد زنجیرهای مولکولی و ساختارهای تازه انجام می شود. پلیمرهای کامپاند شده و آمیزه سازی شده با افزودنیهای گوناگون و کارکردهای متفاوت می توانند کارائی بهتری را از خود در عمل، نشان دهند، استحکام مکانیکی بالاتری داشته باشند و فرآیند نمودن آنها نرم تر و آسانتر انجام شود، یعنی در حین عملیات فرآیند نمودن، اختلالات و پخت در ماشین آلات مربوطه براحتی، درهم آمیخته شده، مخلوط شده و از ماشین فرآیندی مربوطه جدا می شوند و در مجموع فرآیند ساخت آنها (شکل دهی و قالبگیری) براحتی و آسان انجام می شود و هزینه های عملیات انجام شده کاملاً رقابتی و مقرون به صرفه می باشد.

کامپاندینگ یا آمیزه کاری، فرآیند ساخت و تولیدی است که به لحاظ فنی پیچیده و دقیق است و ماشین آلات خاص خود را برای پلاستیکها دارد (مترجم). کار اصلی تجهیزات آمیزه کاری عبارتست از مخلوط کردن دو یا چند پلیمر مختلف با افزودنیها و تقویت کننده ها به منظور تشکیل یک ماده ی مذاب یکسان، هم شکل، یکنواخت و پیوسته. در حین این عملیات، از چندین دستگاه آمیزه ساز یا کامپاندر (Compounder) استفاده می شود. آمیزه سازهای تک ماریچ و چندین نوع از آمیزه سازهای ماریچ دوقلو همانند آمیزه سازهای مماسی آمیزه سازهایی که تنش برشی و تأثیر متقابل مکانیکی میان ذرات مخلوط شونده را زیاد می کنند یا خود جاروب کننده یا خود تمیز کننده و آمیزه سازهای چرخشی با گردش های ماریچ گونه این کامپاندرها از قسمت های مختلفی تشکیل شده اند :

طولهای گوناگونی دارند. منظور از طول کامپاندر، قسمتهای کاری می باشد، به عبارت دیگر طول لوله ی اکسترودر مد نظر است که ماریچ درون آن به حرکت درمی آید و مواد اولیه از قسمتهای مختلف (فیدرها یا محلهای تغذیه ی مواد) وارد آن می شوند. (مترجم)، بخش مربوط به خلأ و دارای (قالب) اکستروژن (روزن رانی)

مخلوط کنهای پیمانانه ای (Batch mixers) برای آمیختن پلیمرها با برخی از افزودنیها مورد استفاده قرار می گیرند. انواع گوناگون محلهای تغذیه ی مواد یا تغذیه کننده ها که خوراک وارد آنها می شود (Feeders) برای کنترل پلیمرها، افزودنیها و تقویت کننده ها بکار می روند و به صورتهای مختلفی وجود دارند : تک ماریچ ها و ماریچهای دوقلو، فیدرهای ثقیلی، فیدرهای ارتعاشی و فیدرهای مخصوص ورود مایعات تجهیزات جانبی و اضافی مورد نیاز دیگر برای فرآیند آمیزه سازی پلاستیکها، عبارتند از :

مخزن خنک کننده (برای حذف تنشهای اعمالی بر روی ماده و نیز شکل پذیری بهتر آن مورد استفاده قرار می گیرد)،

دستگاه قرص ساز یا دانه ساز (Pelletizer) که دانه های پلیمری را بصورت گلوله های ساچمه ای کوچک و ریز تولید می کند،

مخلوط کننده (Blender) و روان کننده (lubricator)،

خشک کن (Dryer) و

تجهیزات مربوط به بسته بندی قرصها یا گرانولهای خشک شده ی پلاستیکی.

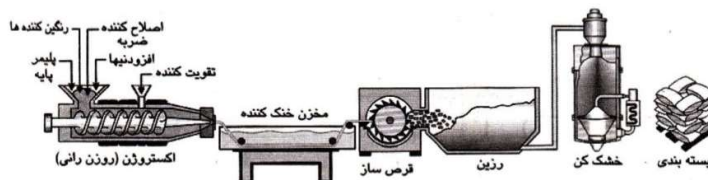
پلیمرهای پایه، بوسیله فرآیندکننده بایستی آمیزه سازی شده باشند تا بتوان آنها را در عمل مورد استفاده قرار داد. فرآیندکننده یا مهندس فرآیند، کسی است که پلیمرهای آمیزه سازی شده را به محصول نهایی تبدیل می کند. در بعضی از شرایط محدود، این امکان وجود دارد که از پلیمر، به شکل خام فرآیند نشده، یعنی به همان صورتی که در نتیجه واکنش پلیمریزاسیون، به دست می آید، استفاده کرد. در هر صورت این پلیمرها ناپایدار بوده و فرآیند کردن آنها خطرناک است، چرا که پایداری حرارتی آنها، غیرقابل پیش بینی، امیدوارکننده، کافی و در حد مطلوب نیست، آنها فقط برای فرآیند پلیمریزاسون مناسب می باشند. غالباً، مراحل ساخت و تولید دیگری مورد نیاز است تا پلیمر خام و فرآیند نشده را بتوان به شکلی درآورد که کار کردن و انجام تغییرات فرآیندی بر روی آنها توسط فرد فرآیند کننده آسانتر انجام شود که در اینجا منظور تجهیزات خاص مربوط به فرآیند نمودن نیست بلکه مهندس فرآیند است که چنین تغییراتی را در عمل تعریف، طراحی و اجرا می نماید. (مترجم)

متداولترین شکلهای پلیمرهای صنعتی عبارتند از: دانه های پلیمری، گرانولها، پوسته ها (Flakes) یا پودر. در دستهای مهندس فرآیند یا فرآیندساز، این شکلهای جامد معمولاً در معرض حرارت و فشار قرار داده می شود، ذوب می شود و تحت فشار به شکل مطلوب خود در می آید، سپس پخت شده و به محصول نهایی تبدیل می شود. همچنین این مواد پلیمری قبل از پخت، بصورت نیمه یا خمیری نیز قابل دسترس می باشند. پلیمرهای مایع را نیز می توان برای تلقیح و آغشته سازی (Impregnation) بر روی مواد لیفی (Fibrous materials) مورد استفاده قرار داد و سپس با گذشت زمان اجازه داده می شود تا خشک و سخت شوند و در ادامه ی عملیات به شکلهای گوناگون با پیکربندیها و ترتیبهای مختلف درمی آیند و ساختارهای ویژه ای را پدید می آورند که

یا مرکب

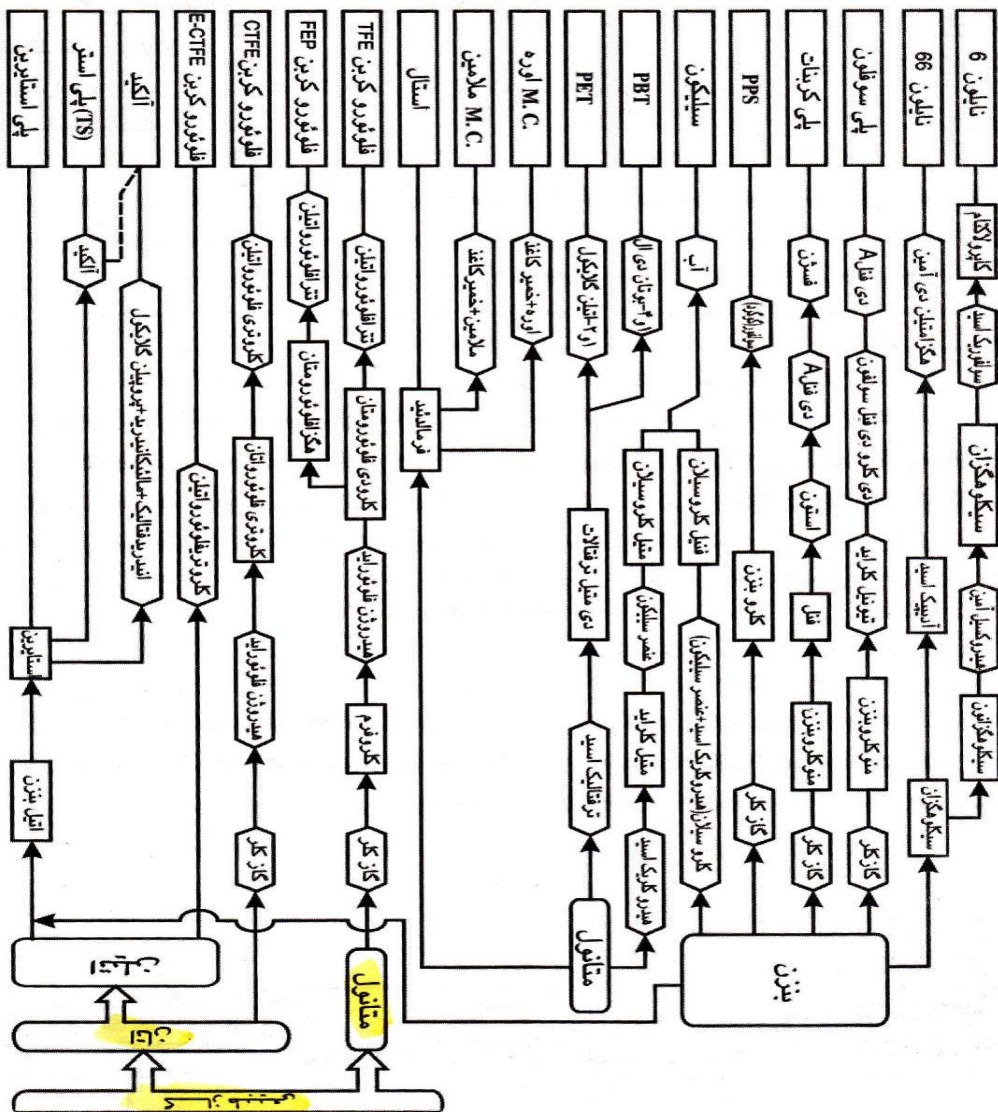
به آنها مواد

کامپوزیت

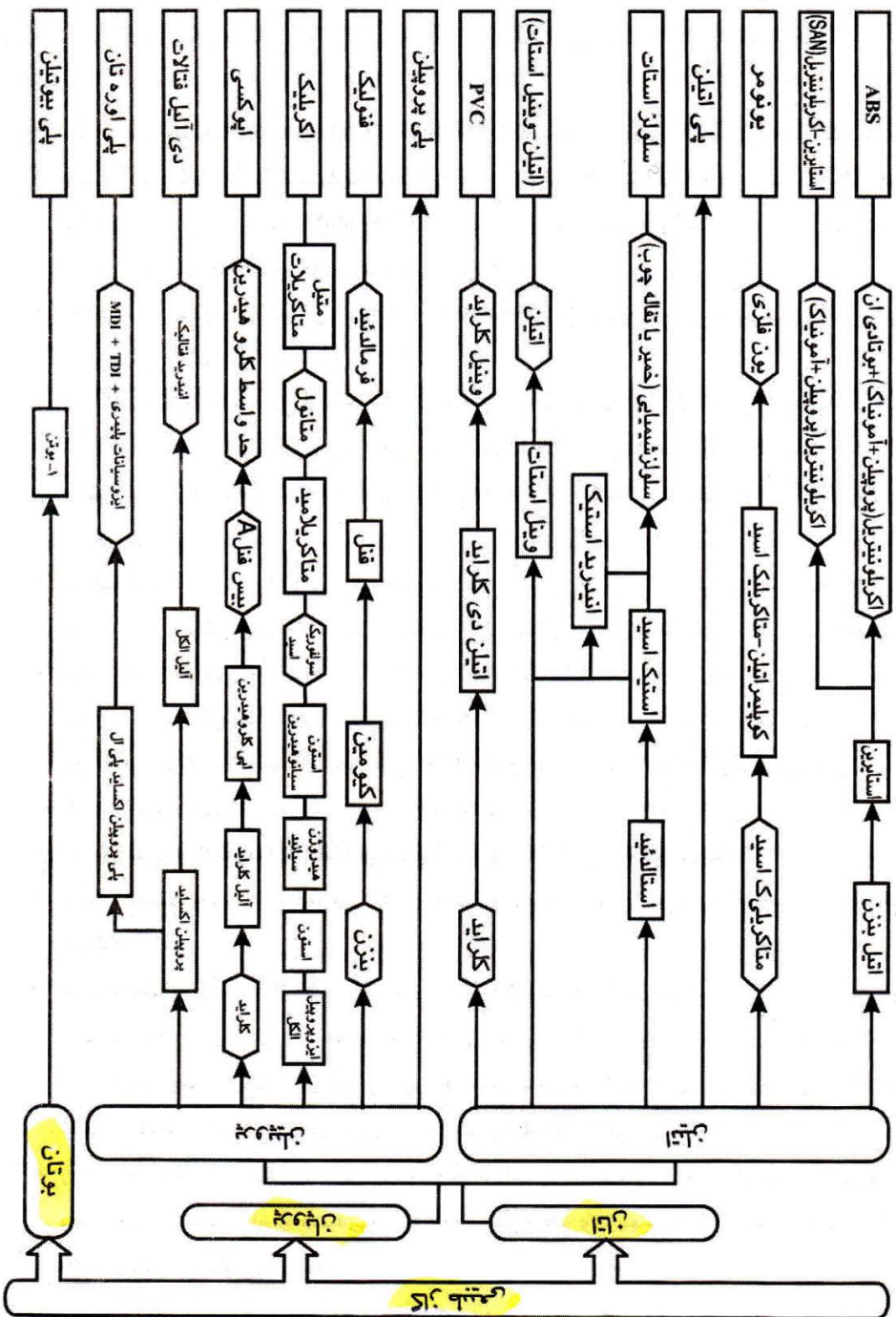


(Composites) می گویند. به آرایش فضایی یا نحوه ی قرارگیری لایه های آغشته به رزین، بر روی هم به لحاظ اینکه قطعه ی نهایی دو بعدی (2D) گردد، پیکربندی یا کنفیگوراسیون قطعه می گویند که در عمل، از این روش در ساخت کامپوزیت های کربن- کربن استفاده می شود (مترجم).

نمودار ۱-۱ نمودار جریان ساده شده مواد پلیمری



نمودار ۲-۱ (رامه)



۶-۱ افزودنیها (Additives)

افزودنیها برای غلبه بر برخی از محدودیتهای کاری و فرآیندی، در مواد پلاستیکی مورد استفاده قرار می گیرند. اطلاعات زیر، افزودنیهای به کار رفته در آمیزه سازی را فهرست می نماید و سپس وظیفه هر یک از آنها را شرح می دهد:

ضد مسدود کنندهها (Antiblocking agents) از چسبیدن فیلمهای پلاستیکی به یکدیگر جلوگیری می کند.

ضد مه تولید کنندهها یا ضد تار کنندههای دید (Antifogging agents): این دسته از افزودنیها، از ایجاد تولید مه یا تاری و تیرگی (Fogging) که سبب غیر شفاف شدن پلاستیک و تار یا کدر شدن فیلم یا ورقه پلاستیکی شفاف میگردد، جلوگیری می کنند.

عوامل ضد الکتریسیته ساکن (Antistatic agents): از تشکیل و تجمع بارهای الکتریکی ساکن بر روی سطح پلاستیکها جلوگیری می کنند.

ضد اکسید کنندهها یا آنتی اکسیدانها (Antioxidants): از تخریب اکسایشی پلیمرها، جلوگیری می کنند.

ضد عوامل زنده یا ضد میکرواورگانیزمها (Biocides): از رشد میکرواورگانیزمهای گوناگون بر روی سطوح پلاستیکی که موجب ایجاد بو، کپک (Mildew) و لکه های مختلف در سطح می گردد، ممانعت به عمل می آورد.

باد ایجاد کنندهها یا عوامل تولید کننده حباب هوا یا گاز: گازی را ایجاد می کنند که در پلاستیکها حل می شود تا ساختاری سلول مانند، متخلخل، کندو شکل و پر از حبابهای هوا و کف را پدید آورد.

مزدوج سازها یا زوج کنندهها (Coupling agents): این دسته از افزودنیها، پیوندهای قوی و بهبود یافته ای را بین پلیمرهای پایه و تقویت کنندهها یا پرکنندهها (فیلرها) پدید می آورند.

عوامل ایجاد کننده اتصالات عرضی (Cross – linking agents): خواص فیزیکی گرمانرها را از طریق تشکیل اتصالات عرضی بهبود می بخشد.

عوامل پخت (Curing agents): پخت پلاستیکها را آغاز یا کاتالیز می کنند.

ضد تولید کنندههای کف یا فوم زداها: حذف و جداسازی هوای به دام افتاده در ماده مذاب را تسهیل می کنند،

به تأخیر اندازهای شعله: میزان اشتعال و سوختن پلیمرها را در اثر شعله تنظیم و بهبود می بخشند.

پایدار کننده‌های حرارتی: از تخریب، شکست و تجزیه حراراتی پلیمرها پیشگیری می‌کنند.

افزودنیها یضد چروک :

از بیچو تا برداشتن، تغییر شکلا بعد یو چروکید گییا انقباضو کاهش حجم مخلوط مذاب در حین فرآیند پلیمریزاسیون جلوگیری می‌کنند.

روانکننده‌ها : قابلیت فرآیند نمودن مخلوط مذاب را، از طریق کاهش گرانروی و یسکوزیته آن، بهبود می‌بخشند و از چسبیدن پلیمر به سطوح فلزیتجهیزات فرآیندی، اعماز قالب، رولها و ماشینآلات پیشگیری می‌کنند.

پلاستی سائزها یا نرم کننده‌ها : انعطاف پذیری، جهندگی (Resiliency) و جریان ماده مذاب را افزایش می‌دهند،

عوامل ایجاد لغزندگی : این دسته از افزودنیها، برای کاهش ضریب انبساط حرارتی، سطح را لغزنده نموده و روان کنندگی سطح را موجب می‌شوند. امکان چسبندگی فیلمها یا ورقه‌های پلاستیکی را به یکدیگر کاهش می‌دهند و از چسبیدن سطوح به یکدیگر جلوگیری می‌کنند،

پایدار کننده‌های اشعه ماوراء بنفش : این مواد افزودنی از تخریب پلیمرها، وقتی که در معرض تابش نور فرابنفش قرار می‌گیرند، جلوگیری می‌کنند و

عوامل مرطوب کننده : ذرات فیلر (پرکننده) را مرطوب ساخته و توزیع (پراکندگی) یکنواخت پرکننده‌ها را در زمینه یا بستر پلیمری افزایش می‌دهند.

۷-۱ پرکننده‌ها و تقویت کننده‌ها (Fillers and Reinforcements)

از پرکننده‌ها و تقویت کننده‌ها برای بهبود خواص فیزیکی، مقاومت در برابر درجه حرارت، مقاومت در برابر محیط و نیز به منظور کاستن از قیمت تمام شده (پرکننده‌ها قیمت را کم می‌کنند) در پلیمرهای صنعتی استفاده می‌شود. در زیر انواع مواد پرکننده و تقویت کننده که در آمیزه سازی از آنها استفاده می‌شود، معرفی شده و نقش هر یک، به اختصار توضیح داده می‌شود:

آلومینیوم تری هیدرات (ATH) : ماده‌ای است که برای رقیق‌سازی، کاهش یا بهبود بخشیدن خواص رزینها، سرامیکها و رنگها و به طور کلی بسط خواص یا ایجاد تغییر و افت خواص در انواع مواد پلیمری از آن استفاده می‌شود و به آن اصطلاحاً، بسط دهنده گفته می‌شود. این ماده همچنین شعله را به تأخیر می‌اندازد و دود را فرو می‌نشاند (Smoke suppressant)،

باریم سولفات : از این ماده به عنوان پرکننده و رنگدانه (پیگمان) سفید رنگ استفاده می‌شود که وزن مخصوص، مقاومت در برابر اصطحکاک و مقاومت شیمیایی را افزایش می‌دهد.

الیاف بور (Boron fibers) : این ماده ساختاری گران قیمت بوده و ظرفیت استحکام کششی و فشاری را بالا می‌برد،

کلسیم کربنات : در محدوده وسیعی از آن در نقش بسط دهنده، استفاده می‌شود که خواص فیزیکی را بهبود می‌بخشد و استحکام کششی، فشاری و ضربه‌ای را افزایش می‌دهد،

کربن بلاک (Carbon black) : این ماده عموماً در نقش فیلر، پیگمان عامل ضد الکتریسیته ساکن مورد استفاده قرار می‌گیرد که به شکل اتصالات عرضی در طول فرآیند پخت کمک می‌کند، این ماده هادی الکتریسیته بوده و به عنوان پایدارکننده در برابر اشعه ماوراء بنفش نیز به کار می‌رود.

کربن ، الیاف گرافیتی (Graphite fibers) : از این الیاف به عنوان ماده تقویت کننده در ساخت کامپوزیتها (مواد مرکب) استفاده می‌شود که استحکام و مدول کامپوزیت را بالا برده و خواص فیزیکی - مکانیکی را بشدت تقویت می‌کند ، این نوع مواد با ساختار هندسی و فضایی ویژه ، دانسیته، ضریب انبساط حرارتی و اصطحکاک پایینی دارند و هادی برق می‌باشند،

الیاف سرامیک : این نوع مواد ساختاری خاص نیز همچون الیاف گرافیت ، به عنوان تقویت کننده در مواد مرکب مورد استفاده قرار می‌گیرد که بسیار گران قیمت بوده و مقاومت در برابر درجه حرارت بسیار بالایی دارند،

الیاف شیشه : این دسته از مواد ساختاری خاص در انواع تجاری گوناگون و در حجم بسیار بالا در صنعت ، تولید شده و در نقش تقویت کننده در انواع کامپوزیتها بکار می‌رود. استحکام مکانیکی، پایداری حرارتی و ابعادی، مقاومت در برابر گرما و مقاومت شیمیایی بسیار بالایی دارند که موجب تقویت خواص فیزیکی - مکانیکی در مواد مرکب می‌گردند،

کائولین یا خاک چینی : دومین افزودنی است که در حجم بالا تولید می‌شود و در نقش بسط دهنده و SMC (sheet Molding Compound) ، BMC (Bulk Molding Compound) ، (آمیزه قالبگیری توده‌ای)، کف پوش وینیلی از آن استفاده می‌شود،

میکا (سنگ طلق، شیشه معدنی): ماده تقویت کننده پوسته‌ای که خواص عایقی (دی الکتریکی)، حرارتی و مکانیکی را بهبود می‌بخشد،

ریزکره‌های توخالی: این مواد وزن را کاهش می‌دهند، سفتی و مقاومت در برابر ضربه را افزایش می‌دهند،

ریزکره‌های جامد: توزیع تنش و خواص جریان مذاب را بهبود می‌بخشند،

پرکننده‌های آلی: از این دسته از مواد نیز در نقش «رقیق کننده» و پرکننده استفاده می‌شود. از مهمترین پرکننده‌های آلی می‌توان به پودر چوب یا خاک اره، پوست گردو، فندق و بادام پودر شده و خرد شده، توده حاصل از پوسته غلات و سبوس ذرت و برنج و پوسته بادام زمینی و پوسته زمینی اشاره کرد.

الیاف پلیمری که به عنوان تقویت کننده در مواد مرکب بکار می‌روند و وزن سبکی دارند،

سیلیکا: این ماده نیز در نقش پرکننده، بسط دهنده و تقویت کننده در کامپانداینگ بکار می‌رود، سیستمهای مایع را غلیظ می‌کند و باعث می‌شود آنها خواص تیکسوتروپیک (Thixotropic) پیدا کنند، یعنی ویسکوزیته آنها را در اثر تکان دادن کاهش یافته و شل شوند و بلافاصله بعد از قطع تکانش دوباره سفت شوند، تغییرات ویسکوزیته مواد مذاب و پلیمرها با اعمال تنش، مطالعه نوع و رفتار آنها در برابر نیروهای تنشی و برشی اعمال شده در علم رئولوژی مورد بررسی و تحقیق قرار می‌گیرد. رئولوژی به دانش مطالعه تغییر شکل مذابهای پلیمری و جریان ماده (سیالات) تحت تاثیر نیروی اعمال شده گفته می‌شود که بر مبنای داده‌های این علم، سیالات به دو دسته سیالات نیوتنی (رابطه بین تنش برشی و سرعت برشی کاملاً خطی است و ویسکوزیته تغییر نمی‌کند و ثابت است) و سیالات غیرنیوتنی (رابطه خطی نیست، ویسکوزیته کم (pseudoplastic) یا زیاد (Dilatant) می‌شود) تقسیم می‌شوند و به ویژه جریان غیرنیوتنی مایعات و جریان پلاستیک جامدات موضوعات خاصی هستند که در این علم به آنها پرداخته می‌شود. برخی دیگر از سیالات، رفتار مقابل رفتار تیکسوتروپی را موسوم به رفتار رئوپکتیک (Rheoplectic) از خود نشان می‌دهند. بدین معنی که در اثر اعمال تنش برشی، ساختار مولکولی سریع‌تر تشکیل می‌شود و ویسکوزیته آنها در اثر اعمال نیرو زیاد می‌شود.

رئوپکسی (Rheopexy)، خاصیتی است که در اثر آن برخی از سلهای (ویسکوزیته کم) دارای ذرات میله‌ای شکل (rod) یا صفحه‌ای در اثر اعمال تنش مکانیکی به ژل تبدیل می‌شوند و ویسکوزیته آنها سیالات انبساط-پذیر گفته می‌شود و

تالک : افزونی است که از آن به عنوان بسط دهنده یا پرکننده استفاده می‌شود. سفتی استحکام کششی و مقاومت خزشی بالایی دارد.

یکی دیگر از اصطلاحات فنی که ضروری است در اینجا اندکی مورد بحث قرار گیرد ، مفهوم سفتی است، بنا به تعریف به نسبت نیروی محکم، ثابت و یکنواختی که بر یک محیط تغییر شکل پذیر کشسان اعمال می‌شود بر جابه‌جایی ایجاد شده در اثر اعمال نیرو یا تنش ، سفتی گویند هر چه نیروی لازم بیشتر باشد و جابه‌جایی ایجاد شده کمتر باشد، سفتی ماده بیشتر است.

ولاستونیت (Wollastonite) : سنگ معدنی کلسیم سیلیکات (CaSiO_3)، به رنگ سفید خاکستری یا قرمز و زرد و قهوه‌ای می‌باشد که بصورت توده‌های قابل تورق در طبیعت یافت می‌شود. امکان استفاده از این افزودنی در مقادیر زیاد و بارگذاریهای بالا وجود دارد. این ماده می‌تواند استحکام مکانیکی و خواص الکتریکی را بهبود بخشد، جذب رطوبت را کمتر کند پایداری حرارتی و ابعادی را افزایش و استحکام ضربه‌ای را کاهش دهد.

۸-۱ اصلاح کننده‌های ضربه (Impact Modifiers)

اصلاح کننده‌های ضربه، استحکام ضربه‌ای پلیمرهای صنعتی را بهبود می‌بخشد ولیکن میزان سفتی ، استحکام کششی، فشاری و مقاومت در برابر درجه حرارت را کاهش می‌دهند.

پلیمر اصلاح شده در برابر ضربه (The impact-modified polymer) بایستی به طرز کاملاً ناهمگون با دوفاز مجزا از یکدیگر ، یکی صلب و شکننده و دومی انعطاف پذیر و خم شونده ساخته شده باشند.

از اصلاحگرهای ضربه‌ای زیر استفاده می‌شود:

پلی بیوتیلن برای فیلم پلی پروپیلن (PB-PP)،

الاستومرهای ترموپلاستیک اولفینی برای ترموپلاستیکهای نیمه بلوری،

لاستیک و TPEها برای پلی اولفینها،

بلوکها یا دسته‌های چندتایی استایرین بوتادی ان برای HIPS،

ABS برای پلی کربنات،

پلی اوره‌تان برای پلی استر ترموپلاستیک ، اپوکسی و پلی سولفون،

الاستومرها برای پلی استرهای اشباع نشده و

EPDM و EPD برای نایلون ، پلی پروپیلن و HDPE ،

۹-۱ رنگین کننده‌ها (Colorants)

از پیگمانها (Pigments) یا رنگدانه‌های معدنی و بندرت آلی (طبیعی یا سنتتیک نامحلول در آب) و دایها (Dyes) یا دای استافه (Dyestuffs)، رنگدانه‌های غالباً آلی (فقط سنتتیک و بعضی از انواع نامحلول در آب هستند) برای رنگی کردن پلیمرهای صنعتی استفاده می‌شود بکارگیری یک مستربچ رنگی (Color masterbatch) عمومی‌ترین تکنیک به کار رفته برای رنگی کردن پلیمرها می‌باشند، کنسانتره یا جوهره ماده رنگی (دای یا پیگمان) درون یک پلیمر حامل یا سازگار همگانی مثل نایلون 6 ، پلی اوفلین EVA ، و پلی اتیلن (PE) پخش می‌شود. مخلوط آمیزه‌سازی می‌شود، سپس اکستروود شده و به صورت حبه‌ها یا دانه‌های پلیمری بریده می‌شود. همانطور که اشاره شد، به مخلوط آمیزه‌سازی پلیمر حامل و ماده رنگی (پیگمان یا دای)، مستربچ رنگی گفته می‌شود.

تکنیکهای دیگر عبارتند از تشکیل مایع و پودر شل نرم که در حین فرآیند آمیزه‌سازی، مشکلات ذرات معلق گرد و غبار را به وجود می‌آورند.

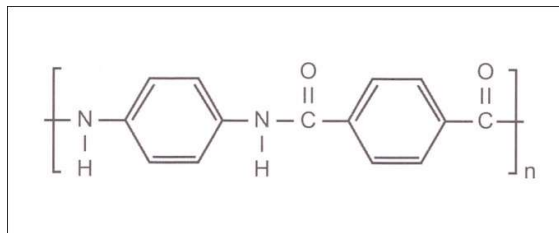
مواد آلی و معدنی ، از جمله نخستین مواد رنگین ساز برای پلاستیکها به شمار می‌روند. تفاوت‌های عمومی در ساختار شیمیایی، ویژگیهای رنگین کنندگی و خواص فیزیکی میان انواع گوناگون رنگ دهنده‌ها وجود دارد.

پیگمانهای آلی : ترکیبات شیمیایی پیچیده‌ای هستند که شامل یک یا چند حلقه بنزنی می‌باشند و از خود ، اندازه ذرات کوچک، شفافیت بزرگتر و استحکام رنگی مناسبی نشان می‌دهند. پیگمانهای معدنی ، ترکیبات فلزی هستند که اندازه ذرات آنها بزرگتر است ، سطح مقطعشان کوچکتر است و متراکم تر (چگال تر) می‌باشند یعنی وزن مخصوص بیشتری دارند ، آنها نور را جذب و پخش می‌کنند و از خود ، کدورت (غیر شفافیت) بیشتر و استحکام رنگ کنندگی بالا و رنگ پس دهندگی کمتری را نشان می‌دهند آنها در مقابل نور فرابنفش پایداری حرارتی و پایداری بهتری دارند ولیکن مقاومت شیمیایی آنها تغییر می‌کند.

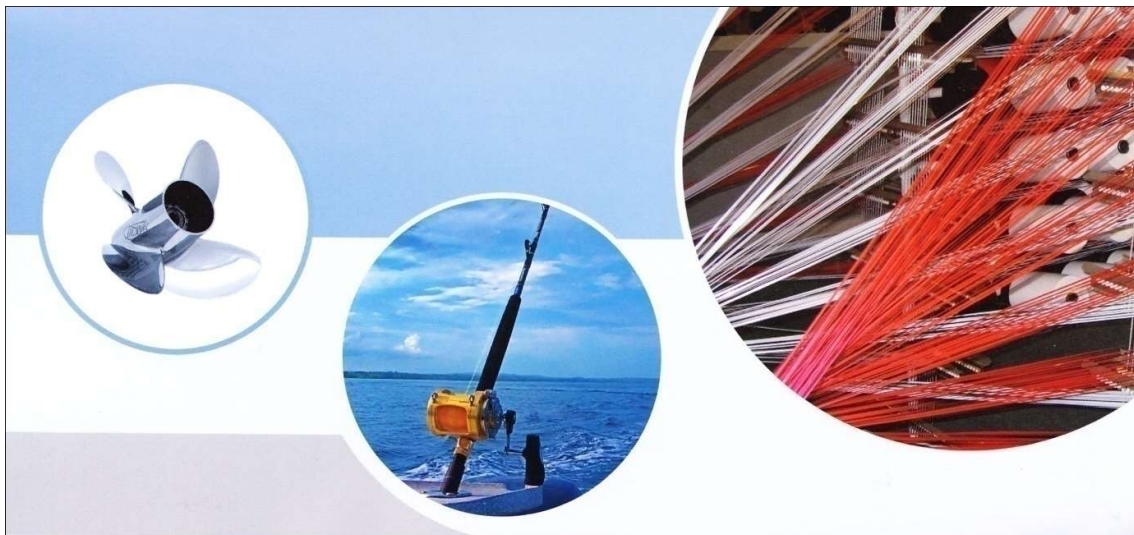
گروههای مهم پلیمر های مهندسی

۱- پلی آمید یا PA

به بسیاری که گروه آمید در آن تکرار شود، پلی آمید گفته می شود و عموماً به نام نایلون شناخته می شود. این بسیار به طور طبیعی یا سنتزی وجود دارد. برای مثال، پروتئین ها مانند پشم و ابریشم پلی آمیدهای طبیعی و نایلون ها و آرامید ها از گروه پلیمرهای سنتزی می باشند.

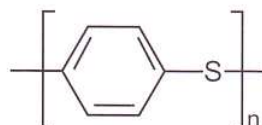


از این ماده در صنایع نساجی، ساخت برس و شانه، پوشش لامپ روشنایی داخل اتومبیل، دنده ها، کلاه کاسکت، پروانه کشتی، نخ ماهیگیری و... استفاده می شود.



۲- پلی فنیلن سولفید

این ماده بسیار ترموپلاست است که دارای حلقه های آروماتیک پیوند خورده با سولفید می باشند. در برابر حرارت، اسیدها و بازها و کپک، مواد سفید کننده، نور خورشید و سایش، از مقاومت بسیار خوبی برخوردار است، لذا به عنوان یک بسیار مهندسی شناخته می شود.

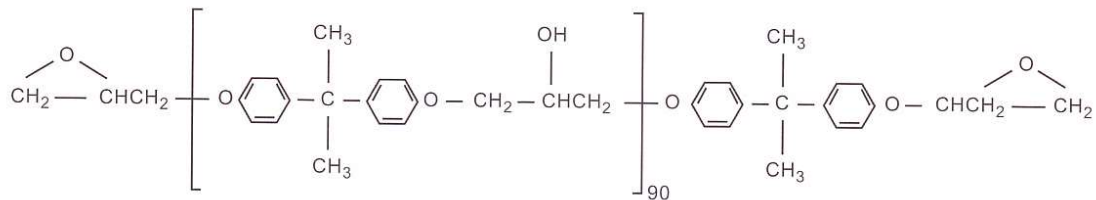


از این ماده در ساخت قهوه جوش ها، قطعات سشوار و فرمهای ماکروویو، حاملهای IC، رابط ها فیلم خازن، مدارهای چاپی، ساخت فیلتر غشاها و واشر، بسته بندی، ابزار جراحی، سینی های سرو غذا در بیمارستانها و... استفاده می گردد.



۳- رزین های اپوکسی

رزین های اپوکسی با اسیدهای چرب یا سایر رزین ها مانند پلی آمید ها ،اوره فرمادئید، ملامین فرمالدئید ترکیب شده و محصولاتی تولید می نمایند که در صنایع پوششی ، کاربرد فراوان دارد . این ترکیبات ، علاوه بر استحکام و دوام بالا ، از انعطاف پذیری زیادی برخوردار می باشند .

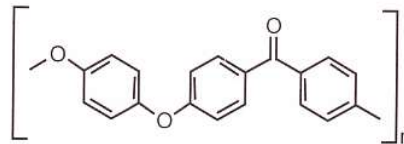


از این ماده در صنایع اتومبیل ، چوب، تولید لوازم خانگی ، صنایع بسته بندی ، پزشکی و تهیه ابزار آلات استفاده می شود .



۴- پلی اتراترکتون یا PEEK

پلی اتراترکتون (Polyether Etherketone) یا پیک (PEEK) بسیاری حلقوی ونیمه بلوری است. این ماده ، ترموپلاستی بی رنگ می باشد که از مقاومت بسیار بالایی در گرما برخوردار بوده و از استحکام مکانیکی ، مقاومت خمشی ، استحکام پیچشی ، مقاومت بالا در مقابل عوامل شیمیایی والکتریسته و همچنین چقرمگی و سفتی بالا برخوردار می باشد.

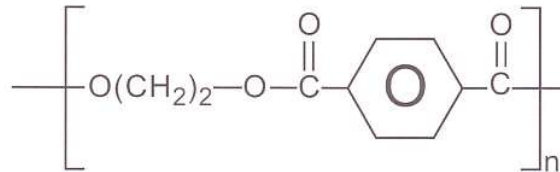


از این ماده به دلیل ویژگیهای آن در ساخت پمپ ، کمپرسور ، پیستون ، فضاپیماها ، اتومبیل ، صنایع شیمیایی و عایق کابل ها استفاده میگردد.



۵- پلی اتیلن ترفتالات یا PET :

پلی اتیلن ترفتالات که به اختصار PET یا PETE عنوان می شود، از تکرار گروه اتیلن ترفتالات تشکیل شده است و ترموپلاستیکی از خانواده پلی استرهاست. این ماده به طور طبیعی ، بی رنگ بوده و از شفافیت بسیار بالایی برخوردار است در مقابل شکنندگی ،مقاوم است .



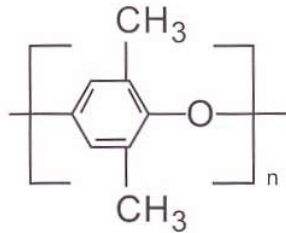
همچنین در تهیه الیاف سنتزی ،الیاف فرش ،ظرف غذاو مایعات ،کاربردهای شکل دهی حرارتی و رزین های مهندسی (اغلب همراه با پشم شیشه)بکار می رود . این ماده قابل بازیافت است .

برخی از نامهای تجاری این بسیار عبارتنداز :الیاف dacron ، diolen ، tergal ، terylene ،Trevira و شیشه Eastman pet ، Cleartuf و polyclear و فیلم Melinex ، Hostaphan و Mylar و گریدهای تزریقیمانند Arnite ، Ertalyte ، Impet ،Rynite و Valox.



۶- پلی فنیلن اکساید یا ppo

این بسیار ترموپلاست از تکرار حلقه های فنیلن که از طریق پیوندهای اتری به هم پیوسته اند، به دست می آید. از خواص مکانیکی بسیار عالی در دماهای بالا برخوردار است. غیر قابل اشتعال بوده و عایق الکتریسیته است. از آن جایی که دمای ذوب آن بسیار بالاست، با پلی استایرن فشرده شده، مخلوط می گردد تا در دمایی مناسب ذوب شود. به این ترتیب می توان از آن در فرآیندهای تولید محصولات پایین دستی بهره جست. از جمله نامهای تجاری این مخلوط می توان از Nory و Xyron نام برد. این ماده در برابر اسیدها، بازها و دترجنت ها مقاوم می باشد.

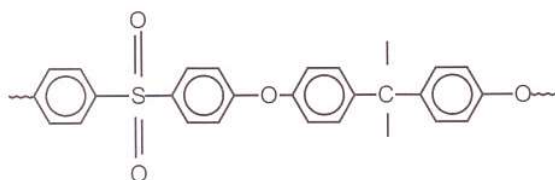


از این ترموپلاست در تهیه قطعات پمپ، وسایل خانگی و خصوصاً در ساخت وسایل بیمارستانی استفاده می گردد.



۷- پلی سولفون

در ساختار مولکولی پلی سولفون ها ، عامل سولفون تکرار شده است . این بسیار گرما نرم به خاطر استحکام و مقاومت زیاد در دماهای بالا مشهور است . خواص آن ، شبیه پلی کربنات بیس فنل آ بوده ، بسیار شفاف و از نظر الکتریسیته ، عایق بسیار خوبی است . این ماده به شدت در برابر اغلب اسیدهای معدنی و بازها و الکترولیت ها مقاوم است . در میان ترموپلاستها دمای ذوب این بسیار از همه بیشتر بوده و در تمام مصارفی که دما نسبتاً بالا باشد کاربرد دارد و نقش یک مقاوم کننده در مقابل آتش را ایفا می کند .

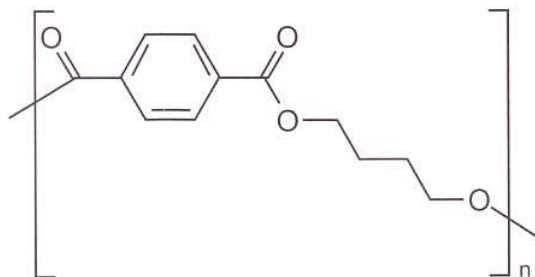


از این ماده در ساخت لوازم و ادوات برقی، چسب فلزات ، قطعات ماشین لباس شویی و ظرف شویی و عایق در خازن ها استفاده می گردد . مقاومت آن در برابر حرارت به گونه ای است که می تواند در تهیه وسایل پزشکی که نیاز به استریزه شدن با بخار یا در اتوکلاو دارند ، مورد استفاده قرار گیرد .



۸- پلی بوتیلن ترفتالات یا PBT

این پلیمر مهندسی ، پلی استری گرما نرم است که به دلیل دارا بودن وزن مولکولی بالا ، استحکام، خصوصیت عایق الکتریکی ، کریستالیزه شدن سریع ، قالبگیری آسان، قابلیت تقویت شدن با الیاف پشم شیشه ، مقاومت مکانیکی خوب ، سرعت پایین جذب آب و مقاومت در مقابل مواد شیمیایی و حلال ها در مقایسه با سایر پلیمرهای مهندسی ، کاربردهای متعددی در صنایع الکتریکی ، الکترونیکی ، خودرو سازی و ساخت فیبرهای نوری یافته است .

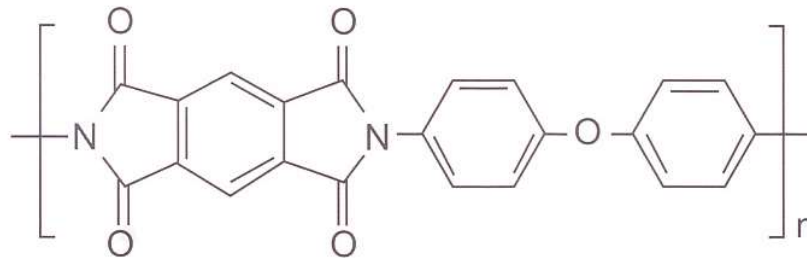


از محصولات تولیدی این بسیار می توان به بخش احتراق موتور ، چراغ های جلو، برف پاکن، ترمز، مخزن ذخیره سوخت ، سپر اتومبیل و غیره در صنعت خودرو ، سوئیچ ها ، رله ها ، بدنه موتور برق خانگی ، بدنه فیوزها، رابط ها ، قطعات تلفن ، دو شاخه ها ، عایق کابل ها ، لامپ های کم مصرف و غیره در صنایع الکتریک و الکترونیک نظیر دسته اتو ، بعضی قطعات توستر ها ، قطعات جارو برقی و آسیابهای برقی ، سشوار و غیره در لوازم خانگی اشاره کرد .



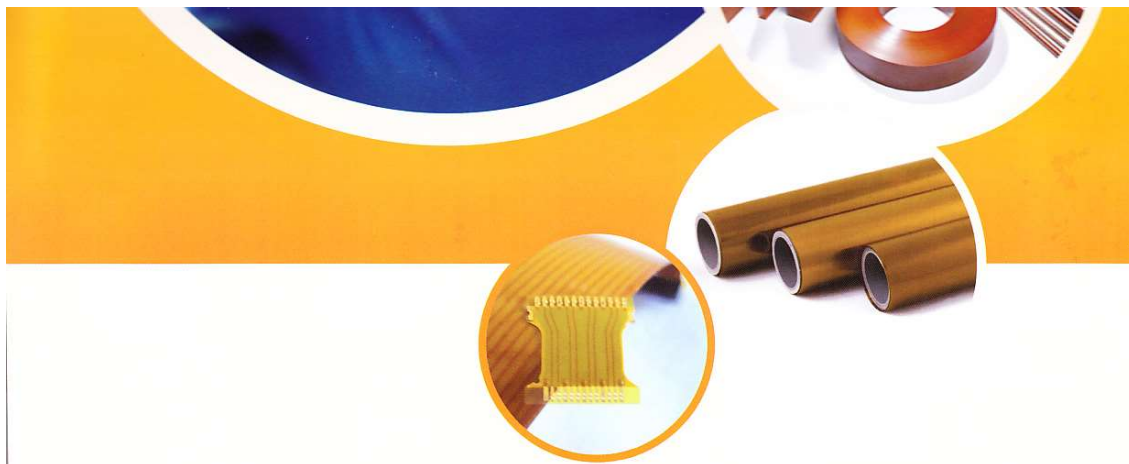
۹- پلی ایمید

این بسیار از منومرهای ایمید ساخته شده و می تواند به صورت ترموست یا ترموپلاست تولید گردد. این بسیار که به رنگ زرد/پرتقالی است، به دلیل برخورداری از مقاومت خوب حرارتی، انبساط حرارتی پایین، مقاومت در برابر مواد شیمیایی آلی و روغن ها، خواص الکتریکی خوب و مقاومت در برابر تشعشع، انعطاف پذیری و خواص عالی مکانیکی شناخته می شود. از ترکیب این ماده با گرافیت یا پشم شیشه می توان ترکیبی بسیار قوی که تحمل پنجاه هزار تاسه میلیون PSI فشار را دارد، بدست آورد.



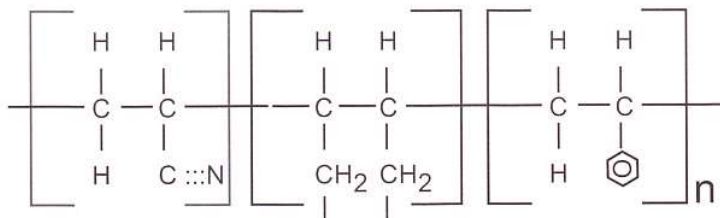
از این ماده در ساخت و تولید قطعات الکتریکی و الکترونیکی مانند کابل های منعطف، فیلم های عایق مانند کابل های لب تاپ که در مقابل باز و بسته شدن لب تاپ منعطف است و قطعات مقاوم در برابر اصطکاک و فرسایش، به عنوان چسب در ساخت نیمه هادی ها و همچنین به عنوان عایق در برابر نیمه هادی ها و تراشه ها استفاده می گردد. اسم تجاری برخی از پلی ایمیدها به شرح زیر است.

Kapton،UPILEX،VTEC PI،norton TH،Kaptrex،VTEC PI،Meldin،vespel،Plavis
Apical،



۱۰-تری پلیمر آکریلونیتریل - بوتادین - استایرن یا ABS

این بسیار که از سه تکپار اکریلونیتریل ، بوتادین و استایرن تشکیل شده ، از مقاومت و استحکام اکریلونیتریل و پلیمرهای استایرن و از دوام و چقرمگی لاستیک بوتادین برخوردار است . مهمترین خاصیت این بسیار ، مقاومت آن در برابر شکستن و چقرمگی آن است . برای تهیه یک کیلو گرم از این بسیار به حدود دو کیلو گرم نفت به عنوان ماده اولیه و همچنین تهیه انرژی مورد نیاز احتیاج است . این بسیار قابل بازیافت است . این بسیار علاوه بر خواص خوب مکانیکی از خواص خوب الکتریکی نیز برخوردار است . این ماده در مقابل اسیدها و بازهای آبی ، اسید کلریدریک ، اسید فسفریک غلیظ ، الکل ها ، روغن های حیوانی ، نباتی و معدنی مقاوم بوده ، اما در اسید استیک ، تترا کلرید کربن و آروماتیک ها محلول می باشد . همچنین در اسید های سولفوریک و نیتریک غلیظ ، استرها کتون ها و EDC حل می شود . در مقابل دمای بالا ، مانند آتش سوزی ها ابتدا می جوشد ، سپس به طور غیر عادی به شدت منفجر شده ، مشتعل می گردد. اگرچه هزینه تولید ABS تقریباً دو برابر پلی استایرن می باشد ، این ماده به خاطر برخورداری از خواصی مانند استحکام ، جلا ، چقرمگی و عایق الکتریکی بالا تر ، مورد توجه است .

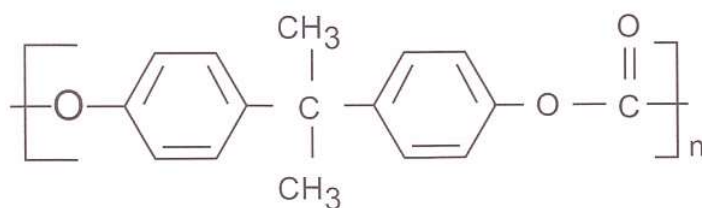


از این بسیار در ساخت محصولات سبک و محکم از طریق قالب گیری استفاده می گردد . در صنایع اتومبیل سازی (مانند سپر)، تولید ماشین تحریر و چاپ ، لوازم خانگی ، ساخت چمدان ، لوله در سیستمهای لوله کشی فشار قوی ، ادوات موسیقی (مانند ضبط صوت ها و کالارینت) ، اسباب بازی مانند لگو و ... استفاده می گردد.



۱۱- پلی کربنات ها یا PC

در این بسیار که به عبارتی پلی استرهای اسید کربنیک است ، شاهد تکرار عامل کربنات در زنجیره آن هستیم که به همین دلیل ، پلی کربنات نامیده می شود. این بسیار می تواند به صورت پلی آروماتیک کربنات یا پلی آلیفاتیک کربنات باشد. اما بیشترین پلی کربنات ها از بیس فیل (پلی آروماتیک کربنات) ساخته شده اند. این بسیار ، گرمانرم بوده و به آسانی قالب گیری می شود. از قابلیت تورق و دوام بسیار بالایی برخوردار است. از خصوصیات دیگر این بسیار می توان از مقاومت حرارتی و خزشی ، استحکام ضربه بالا و برخورداری از خواص اپتیکی نام برد. این بسیار خواص مشابه پلی متیل متاکریلات داشته ، اما نسبت به آن قوی تر بوده و در محدوده دمایی گسترده تری قابل استفاده است ، البته گرانتز نیز می باشد. این پلی مر که بسیار شفاف است ، از بسیاری شیشه ها ، خاصیت اپتیکی بهتری داشته و گرید CR-۳۹ آن برای ساخت شیشه عینک به کار می رود.



این بسیار در ساخت لوازم خانگی ، آزمایشگاهی ، صنعتی ، خصوصاً در جاهایی که خصوصیات این ماده مورد نظر می باشد کاربرد دارد . به عنوان مثال ، می توان از آن در قطعاتی مانند جعبه باتری ، بدنه کویل ، بدنه فیوز و وسایل آشپزخانه ، بطری شیر بچه و عینک های طبی ، آفتابی و ایمنی ، ادوات موسیقی ، DVD ، CD ، محفظه MP3 PLAYER ، کامپیوتر و لب تاب ، تابلوهای تبلیغاتی ، شیشه های تخت یا منحنی ، پنجره هواپیما ، دیوارهای ضد صوت و... استفاده می گردد .



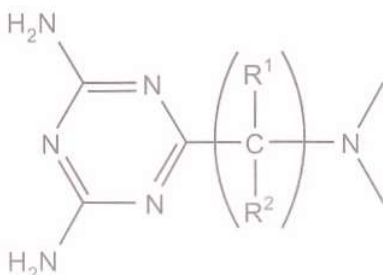
استفاده از این ماده با بسیار پلی متیل متاکریلات در پنجره های ساختمان و نور گیر ها باعث می گردد که در صورت بروز زلزله ، خطر کمتری ساکنان منازل را تهدید نماید . نامهای تجاری این ماده عبارتند از Calibre ,Lupilon ,Lexan ,Makrolife ,Makrolon ,Panlite ,Tarflon ,LBE:

۱۲- پلی استال

رزین های پلی استال که پلی اکسی متیلن (POM) نیز خوانده می شوند از جمله رزین های مهندسی هستند که در بخشهای مختلف صنعت ، حمل و نقل ، کشاورزی ، ساختمانی و ... کاربرد دارند . این رزین ها به علت برخورداری از خواص شیمیایی ، حرارتی ، الکتریکی و مکانیکی عالی ، در بسیاری از کاربردها ، جایگزین فلزات و برخی پلاستیکها شده اند . علاوه بر آن ، این پلیمر با ساختمان به شدت متبلور ، بسیار

سخت و سفت و مقاوم می باشد. در محدوده وسیعی از شرایط محیطی از نقطه نظر دما و رطوبت ، خواص روان پذیری خوبی از خود نشان می دهد ، به طوری که مقاومت آنها در مقابل سایش بالا و ضریب اصطکاک و ارتجاع آنها پایین است . همچنین این رزینها دارای مقاومت شیمیایی بسیار خوب در مقابل بسیاری از حلالهای باشند . از معایب پلی استالها ، بالا بودن نسبی وزن مخصوص (حدود ۱/۴۱-۱/۴۲) و بالا بودن قابلیت اشتعال آنها است . این رزین ها نمی توانند رنگ شوند ، ولی همراه با رنگهای مختلف قالبگیری می شوند . تبلور بالای رزین های پلی استال موجب ایجاد جمع شدگی ، در هم رفتگی و انقباض آنها پس از عملیات قالبگیری می شود که بایستی این امر در هنگام طراحی قطعات مد نظر قرار گیرد .

پلی استالها به عنوان یکی از قدیمی ترین ترموپلاستیکهای مهندسی به دلیل پایین بودن هزینه تمام شده آنها در مقابل سایر پلاستیک ها هنوز جانشین موفق در بازارهای سستی فلزات می باشند ، به همین دلیل این پلیمر جایگزین روی ریخته شده ، برنج ، آلومینیوم ، فولاد و سایر فلزات با کاربرد های نهایی گوناگون در صنایع مختلف می گردند .

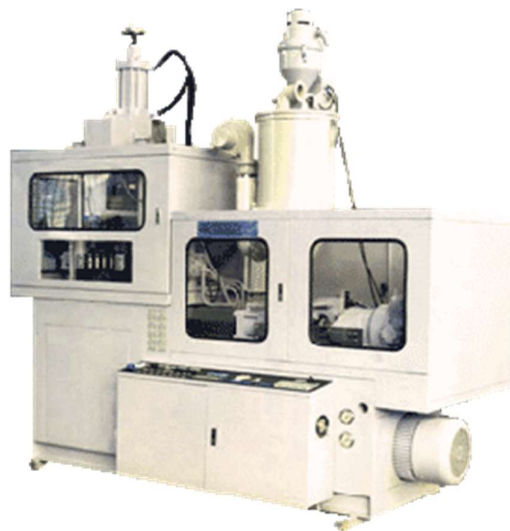


این ماده در ساخت قطعات مختلف در صنایع خودرو سازی ، مانند سوئیچ ها ، دکمه های صفحه کلید کامپیوتر ، تلفن ، ماشین های اداری ، پرینترهای کامپیوتر ، پلاترها ، نوار کاست صوتی و ویدئو کاست ها و غیره در صنایع الکتریکی و الکترونیکی ، تولید قطعاتی نظیر چرخ دنده ها ، یاتاقانها ، محور ها ، بوش ها ، قرقره ها ساخت وسایل ورزشی ، لوله کشی و آبرسانی ، لوازم خانگی ، ماشینهای لباس شویی ، خشک کن ها ، فن ها ، تجهیزات پزشکی و پروتزهای مختلف و... بکار می رود .

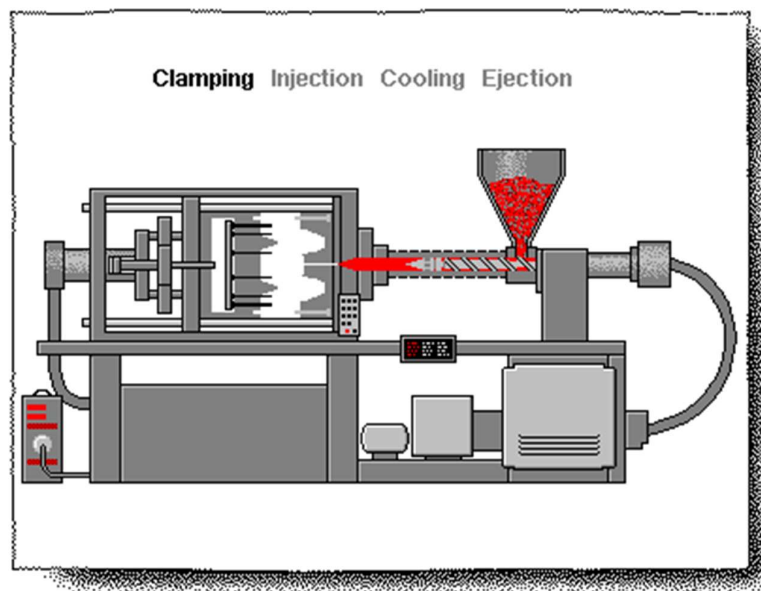


فرآیندهای فرآوری پلیمرها

فرآیند تزریق پلاستیک ها



شیوه ی تزریق پلاستیک یکی از مهمترین و پرکاربردترین روشهای شکل دهی پلاستیک و تولید محصولات پلاستیکی در صنایع محسوب می شود. در این روش ماده اولیه که یکی از انواع ترموپلاستها می باشد، طی عملیات خاصی به داخل کویتهای (Cavity) قالب رانده شده و پس از خنک کاری از قالب بیرون می آیند. این روش بیشتر در پروسه های تولید انبوه (Mass - Production) و مدل سازی (Prototyping) مورد استفاده قرار می گیرد. تزریق پلاستیک نسبتاً شیوه جدیدی در تولید محصولات به حساب می آید. اولین دستگاه تزریق پلاستیک در سال ۱۹۳۰ میلادی ساخته شد و کم در اختیار صنایع قرار گرفت.



در ادامه ۶ مرحله از یک پروسه تزریق پلاستیک معرفی و بررسی می شود

: Clamping

یک ماشین تزریق از سه قسمت اصلی تشکیل شده است . قالب ، Clamping و فاز تزریق Clamping. قسمتی از دستگاه را شامل می شود که در حین پروسه تزریق قالب را بسته نگه می دارد و پس از آن باز می کند اساساً قالبها از دو نیمه تشکیل می شوند که در هنگام تزریق باید توسط این بخش در کنار هم فیکس شوند .

تزریق (Injection)

در فاز تزریق مواد پلاستیک که معمولاً به فرم گرانول (دانه دانه) می باشند ، وارد قیفی در قسمت بالایی دستگاه می شوند و از آنجا وارد سیلندری می شوند که توسط هیترهایی احاطه شده است . گرانولها پس از حرارت دیدن به حالت مذاب یا رزین در می آیند . در داخل سیلندر مواد به وسیله مارپیچی زیر و رو می شوند . با چرخش مارپیچ مواد نیز به سمت جلو رانده می شوند . و هنگامی که ماده کافی در قسمت جلویی مارپیچ ذخیره شد ، عملیات تزریق توسط نازل صورت می گیرد . و مواد مذاب به داخل راهگاه قالب رانده می شوند . سرعت و میزان فشار وارده به میزان چرخش مارپیچ و نیز قطر نازل بستگی دارد . در برخی از ماشینهای تزریق پلاستیک به جای مارپیچ از یک پیستون منگنه ای استفاده می شود .

Dwelling

فاز Dwelling شامل یک مکث در پروسه تزریق می شود تا هم مذاب در داخل کویتهها به صورت کامل پر شود و هم گازهای ایجاد شده از محفظه های تعبیه شده خارج شوند .

Cooling (خنک کاری)

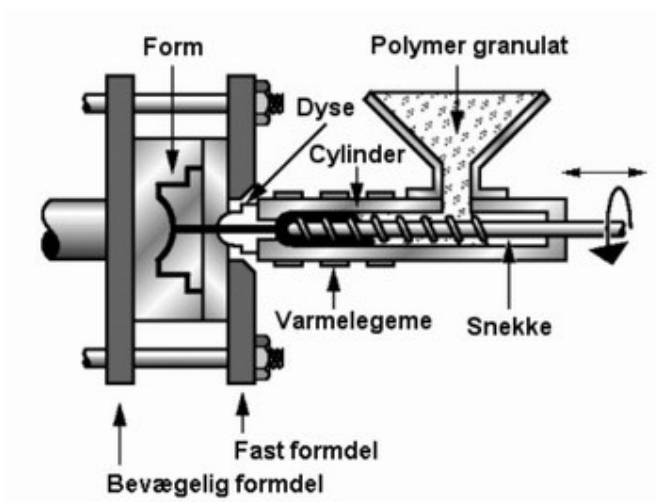
در این مرحله مذاب خنک می شود تا به حالت جامد در آمده و قابلیت خروج از قالب را پیدا کند . در غیر این صورت احتمال تغییر شکل محصول زیاد می باشد

بازشدن قالب (Mold Opening)

در این قسمت بخش Clamping از هم باز می شود تا دو نیمه قالبها نیز از هم باز شوند و آماده بیرون اندازی شوند .

بیرون اندازی (Ejection)

چند میله به همراه یک صفحه عملیات خروج قطعه از قالب را انجام می دهند . رانرها و راهگانهای قطعه کار که به صورت غیر استفاده و زاید می باشند از قطعه جدا و تمیزسازی می شوند تا مجدداً برای ذوب شدن آماده شوند .



امتیازات شیوه تزریق پلاستیک :

- ۱- سرعت بالای تولید
- ۲- تنوع وسیع مواد مورد استفاده در این روش
- ۳- صرفه جویی در نیروی انسانی
- ۴- کمترین میزان اتلاف مواد
- ۵- کاهش عملیات بعد از تزریق در تولید محصول

۶- محدودیت های شیوه تزریق پلاستیک :

- ۱- هزینه های بالای تجهیزات و دستگاهها
- ۲- بالا بودن هزینه های تولید و انجام پروسه
- ۳- طراحی بعضی قسمتهای دستگاه بر حسب قالب مورد استفاده

مهمترین مشخصات هر دستگاه تزریق بدین قرار است

- ۱- حجم تزریق (مهم)
- ۲- قطر مارپیچ
- ۳- وزن تزریق
- ۴- مقدار مواد گیری در ثانیه
- ۵- سرعت مارپیچ
- ۶- تناژ گیره (مهم)
- ۷- کورس باز شدن گیره
- ۸- فاصله ی بین میلیه راهنما
- ۹- حداکثر و حداقل ارتفاع و عرض قالب
- ۱۰- کورس پران (مهم)
- ۱۱- حداکثر فشار پمپ (مهم)
- ۱۲- توان الکترو موتور
- ۱۳- توان المنت ها
- ۱۴- ظرفیت سیلو
- ۱۵- حجم مخزن روغن (مهم)

ساختمان عمومی قالبهای تزریق

۱- محفظه

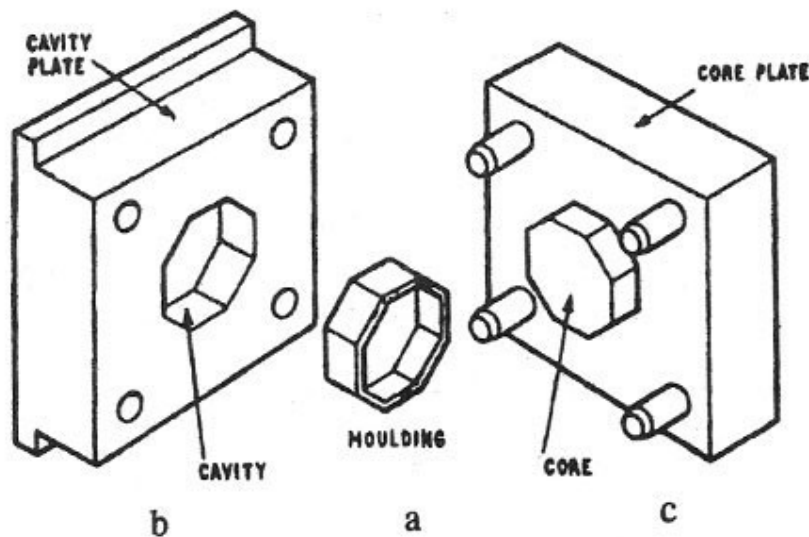
قالب تزریق شامل مجموعه ای از قطعاتی است که "محفظه" را تشکیل می دهند، مواد پلاستیک به داخل این محفظه تزریق شده و سرد می شوند. در محفظه قطعه تزریقی شکل می گیرد. بنابراین محفظه به بخشی از فضای قالب گفته می شود که به شکل قطعه تزریقی است و قطعه در آن شکل می گیرد. محفظه با دو عضو قالب شکل می گیرد:

الف- حفره: قسمت مادگی قالب است و شکل بیرونی قطعه را به وجود آورد.

ب- ماهیچه: قسمت نر قالب است و شکل داخلی قطعه را به وجود می آورد.

۲-صفحات حفره ای و ماهیچه ای

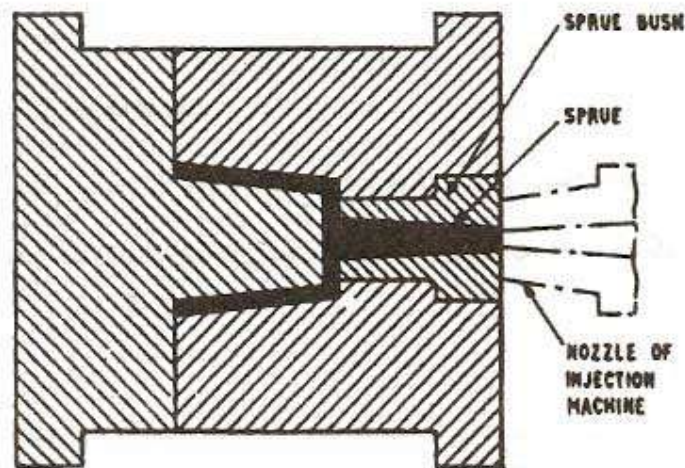
این صفحات در شکل (۱-۲) برای یک ظرف شش گوش ساده نشان داده شده است. در این مورد قالب شامل دو صفحه است. در داخل یک صفحه حفره ایجاد شده که شکل آن مانند شکل بیرونی قطعه است. بنابراین، این صفحه را صفحه حفره می نامند. به صورت مشابه ماهیچه دارای شکل بر آمده از صفحه ماهیچه است و شکل آن مانند شکل داخلی قطعه تزریقی است. زمانی که قالب بسته شود، بین حفره و ماهیچه فضایی به شکل قطعه تزریقی به وجود می آید که آن را محفظه می نامند



شکل (۱-۲) قالب پایه شامل صفحه حفره و صفحه ماهیچه

۳- بوش تزریق

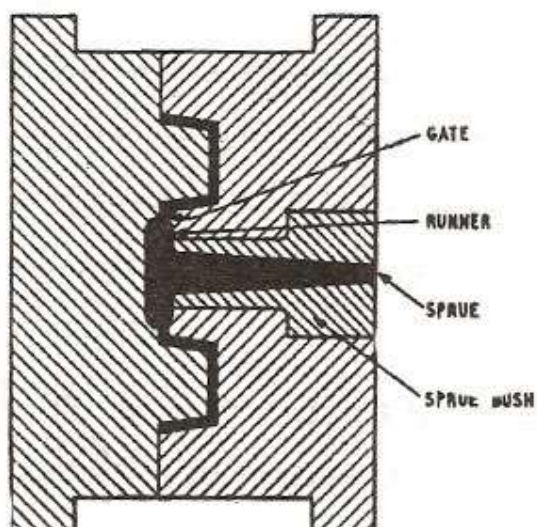
در هنگام تزریق مواد پلاستیک به صورت خمیر از نازل ماشین خارج شده و از طریق یک مسیر به محفظه قالب وارد می شود. ساده ترین نوع این مسیر یک سوراخ مخروطی شکل در داخل یک بوش است که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. مواد موجود در این مسیر را اسپرو و بوش را بوش تزریق گویند.



شکل (۲-۲): سیستم تغذیه برای قالب تک محفظه ای

۴- سیستم راهگاه و ورودی

مواد پلاستیک مستقیماً از طریق بوش تزریق (شکل ۲-۲) وارد محفظه شده و در قالب هایی که دارای چند محفظه هستند (قالب های چند محفظه ای) قبل از ورود مواد به محفظه، می باید این مواد از راهگاه و ورودی نیز عبور کنند (شکل ۲-۳).



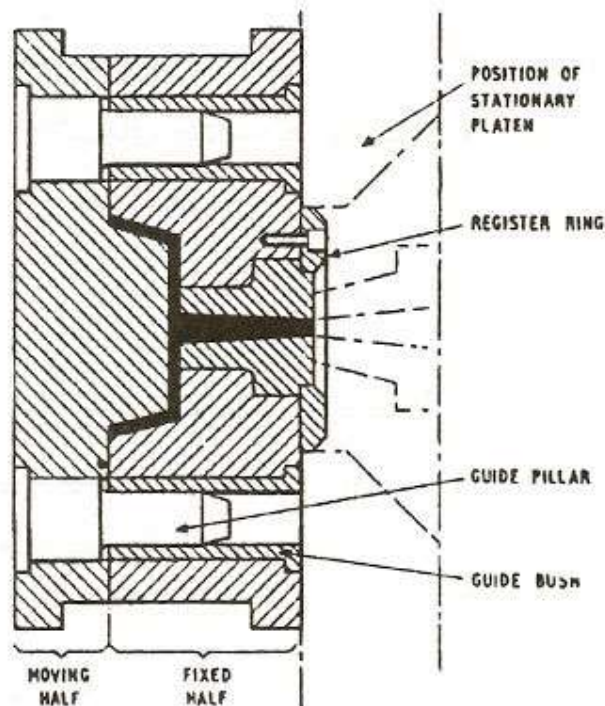
شکل (۲-۳): سیستم تغذیه برای قالب چند محفظه ای

۵- حلقه تنظیم

برای اینکه مواد پلاستیک بدون هیچ مانعی وارد قالب شوند، نازل ماشین و بوش تزریق می باید هم راستا باشند. برای اطمینان از این موضوع باید قالب در مرکز صفحه ماشین نصب شود. این هم مرکزی با استفاده از حلقه تنظیم امکان پذیر است

۶- میله ها و بوش های راهنما

در قالب گیری قطعه ای که ضخامت دیواره ها در آن مهم است و برای اطمینان از منطبق بودن حفره و ماهیچه که امری الزامی است با بکاربردن میله ها و بوشهای راهنما در دو لنگه قالب، هنگام بستن قالب عمل انطباق به صورت رضایتبخشی انجام می شود. شکل (۲-۴) یک نمونه را که در آن میله های راهنما در سمت ماهیچه و بوش های راهنما در سمت حفره نصب شده، نشان می دهد. ابعاد میله راهنما باید به اندازه ای باشد که انطباق دو نیمه با توجه به نیروهای اعمال شده به قالب امکان پذیر باشند در شکل زیر همه قطعات پایه تشکیل دهنده یک قالب در یک برش مقطع از نقشه مونتاژ نشان داده شده است



شکل (۲-۴): قالب پایه شامل قطعات بوش تزریق، حلقه تنظیم، میله های راهنما و بوشهای راهنما

۲- نیمه ثابت و نیمه متحرک

در شکل (۲-۴) مشاهده می شود که قطعات مختلف قالب در یکی از دو نیمه قالب جا می گیرند. نیمه ای که به صفحه ثابت ماشین بسته می شود (به صورت خط و نقطه نشان داده شده است) نیمه ثابت قالب نامیده می شود. نیمه دیگر قالب که به صفحه متحرک ماشین بسته می شود به صورت مختصر نیمه متحرک قالب نامیده می شود. اکنون بایستی تصمیم گرفت که حفره و ماهیچه را در کدام نیمه قالب نصب کرد. عموماً به دلیلی که در زیر بیان می شود ماهیچه روی نیمه متحرک قالب نصب می شود:

در زمان سرد شدن قالب قطعه تزریقی منقبض شده و در هنگام باز شدن قالب روی ماهیچه می چسبد. خواه ماهیچه روی نیمه ثابت و خواه روی نیمه متحرک قالب نصب شده باشد، این انقباض اتفاق می افتد. به دلیل انقباض در قطعه تزریقی عموماً بایستی از یک سیستم پران استفاده کرد. اگر ماهیچه در سمت متحرک قالب نصب شود امکان تحریک سیستم پران ساده تر است. در قالب تک محفظه ای شکل (۲-۴) حفره در نیمه ثابت و ماهیچه در نیمه متحرک قالب نصب شده است.

مختصری بر طراحی قالب (Mold Design)

طراحی، مهارت در تلفیق دانش و تجربه است و طراح کسی است که می تواند هنرمندانه از این مهارت استفاده کند. برخی بر این باورند که طراحی امری غریزی است و بعضی آن را اکتسابی می دانند. آنچه مسلم است نقش ذوق و سلیقه فردی در فرآیند طراحی قابل انکار نیست و خلاقیت عنصر جدایی ناپذیر در مبحث طراحی است. در هر زمینه ای، طرح های نو بر اساس شناخت و فهم دقیق و کامل طرح های قدیم و به کار بردن زیرکانه دانش، خلاقیت و ذوق فردی در جهت افزایش و تکمیل کارآیی و رفع نواقص آنها شکل می گیرد. طراحی قالب نیز فرآیندی است که سیر تکاملی خود را از طراحی مکانیزم های ساده تا پیچیده در این بستر طی کرده است. طراحان قالب همگام با پیشرفت های صنعتی و فن آوریهای نوین در رشته ساخت و تولید، با خلق طرح های نو، تاثیر زیادی بر فرآیند محصولات گذاشته اند.

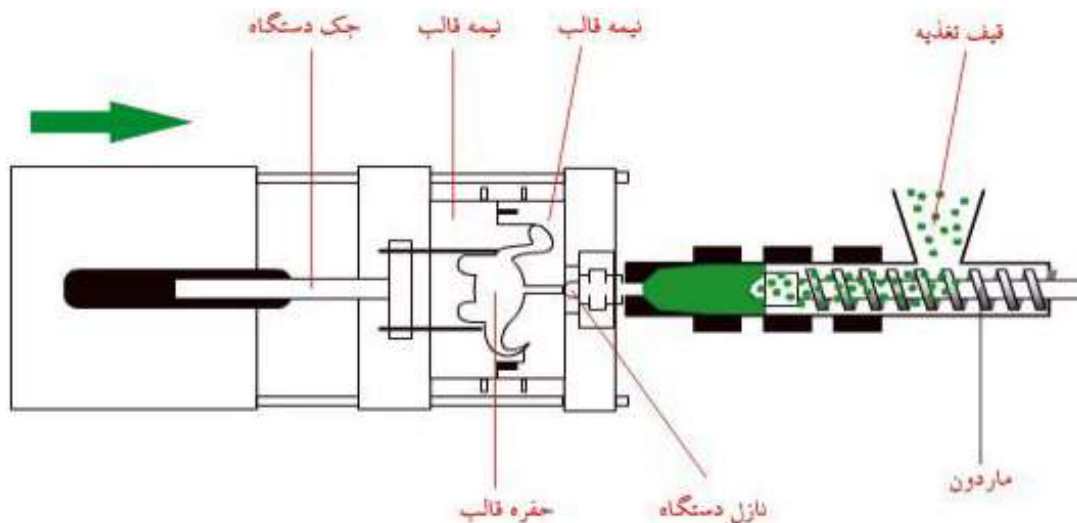
مشکل عمده ای که مبتدیان در شروع کار طراحی قالب با آن روبه رو هستند این است که چگونه و از چه بخشی از قالب طراحی را آغاز کنند.

در عمل، نقشه قالب شامل سه نما است: یک نما از نیمه ی متحرک، یک نما از نیمه ی ثابت و یک برش جانبی از هر دو نیمه. در نقشه مونتاژ قالب (Mold Assembly Drawing) (بایستی جزییات تا اندازه ای ترسیم شود که نقشه کش بتواند با استفاده از آن نقشه های اجرایی قطعات قالب را ترسیم نماید. مبتدیان میتوانند فقط دو نما از قالب را ترسیم نمایند معمولاً این دو نیمه شامل یک نمای پلان از نیمه متحرک (Moving Mold) (و یک نمای برش جانبی از هر دو نیمه است. بازبینی نقشه نهایی قالب آخرین مرحله طراحی قالب است. در این مرحله مهم باید خطاها تشخیص داده شده و تصحیح شوند. خطاها ممکن است خطای طراحی، نقشه کشی و یا ابعادی باشد. پس از تکمیل نقشه ها نقشه کش فرصت خوبی دارد تا طرح را به طور کلی بازبینی کند. نقشه کش باید عملکرد هر جز در ساختمان قالب را برای داشتن یک قالب با راندمان خوب بررسی نماید. برای نقشه کش قالب، فرآیند بازبینی نقشه قالب ضروری است. در این فرآیند نقشه کش نباید خطاهای موجود در طرح را به نقشه های ساخت منتقل کند. در صورت عدم تشخیص یک خطا، قالب مطابق مشخصات و نقشه ها ساخته شده و در نتیجه زمان و هزینه (Time & Cost) (زیادی برای تصحیح باید متحمل شد. طرح بایستی توسط یک طراح مستقل (یک بازبین نقشه) کنترل شود، این طراح بایستی پیش از کنترل نقشه با طراحی ارتباطی داشته باشد تا بتواند طرح را بدون هیچ ذهنیت قبلی کنترل نماید. در هر حال کنترل مرحله ای نقشه توسط بازبین نباید مانع از کنترل کلی نقشه توسط خود نقشه کش شود

سیکل قالبگیری

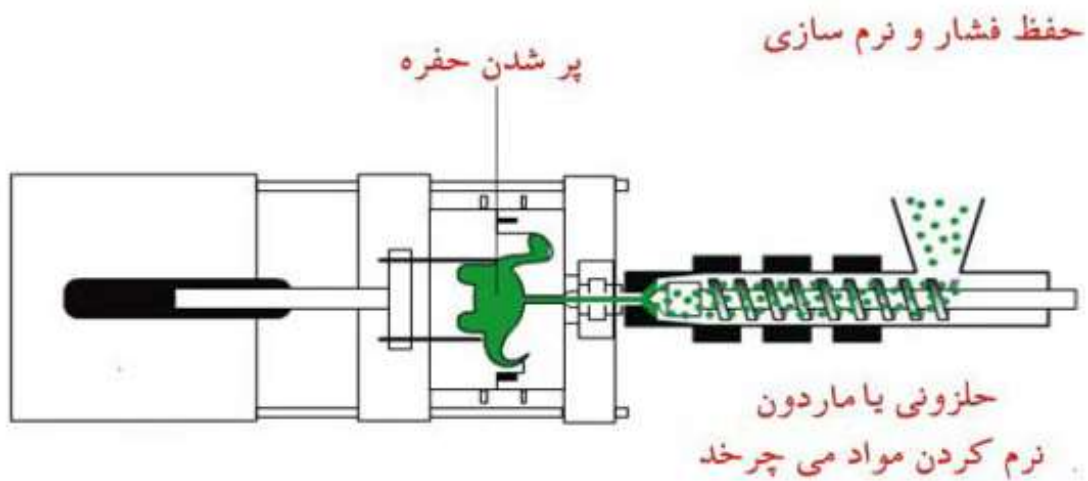
در ساده ترین و در عین حال مرسوم ترین روش، قالب تزریق از دو نیمه تشکیل می شود که هر کدام از آنها مستقیماً به صفحات ماشین قالبگیری نصب شده اند. نیمه تزریق ثابت و نیمه پران متحرک، دو جزء اصلی هستند که مستقل از طراحی در هر قالبی وجود دارند. به این اجزاء نیمه نر و ماده (Core & Cavity) هم گفته می شود.

مراحل عملیاتی-سیکل قالبگیری- به صورت شماتیک در شکل ۱ نمایش داده می شود. در ابتدا (مرحله ۱، تزریق) مواد مذاب به داخل قالب بسته تزریق می شود. که این قالب برای جلوگیری از خروج مذاب از حفره قالب یا حفره قالبها با نیروی زیاد قسمت گیرنده (نیروهای گیرنده) بسته می شود. مذاب از قسمت نرم سازی، عموماً حلزونی رفت و برگشت سری، به حفره قالب تزریق می شود. قسمت نرم سازی و قالب باید به صورت محکم به هم متصل باشند تا ماده مذاب اتلاف نشود.



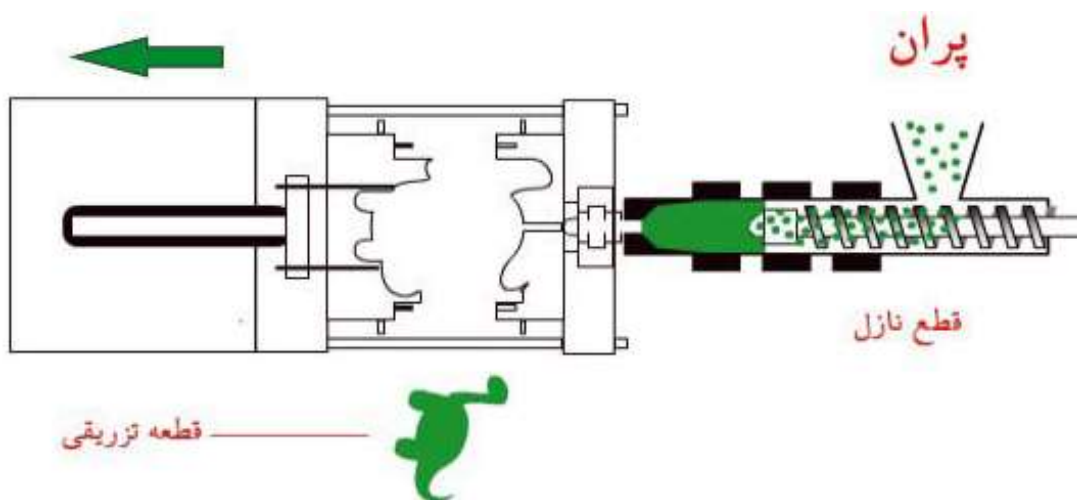
مرحله اول

به علت اختلاف دمای زیاد بین قسمت نرم سازی و قالب اتصال این دو قسمت فقط به مقداری که لازم است حفظ می شود و این مدت تا زمانی است که مذاب توانایی جریان پیدا کردن دارد. پس از پر شدن حفره قالب، مذاب شروع به انجماد می کند. بنابراین حجم آن به مقدار کم و بیش مشخصی کم می شود. این انقباض حجمی با تزریق مذاب بیشتر جبران می شود. بنابراین فشار مذاب تا پایان انجماد باید حفظ شود (مرحله ۲).

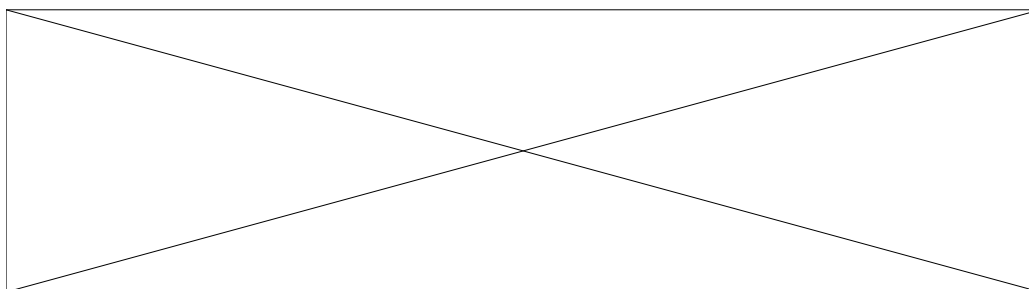


مرحله دوم

از آنجا که در نرم سازی مقداری زمان صرف می شود، حلزون شروع به چرخش کرده و مواد تغذیه می شود، این مواد با مقدار مشخص به داخل حلزونی ریخته و ذوب شده و به سر حلزونی برده می شود. فضای لازم با عقب کشیدن حلزونی به صورت هم محور، اغلب مقابل پشت، ایجاد می شود. هنگامی که قطعه قالبگیری منجمد می شود، قسمت تزریق از قالب جدا می شود تا ماده داخل نازل هم به این شکل سرد نشود. قسمت گیرنده تا موقعی که قطعه قالبگیری برای بیرون اندازی به اندازه کافی محکم نشده باشد (از نظر استحکام پایدار نشده باشد) بسته می ماند. (مرحله ۳، پایین).

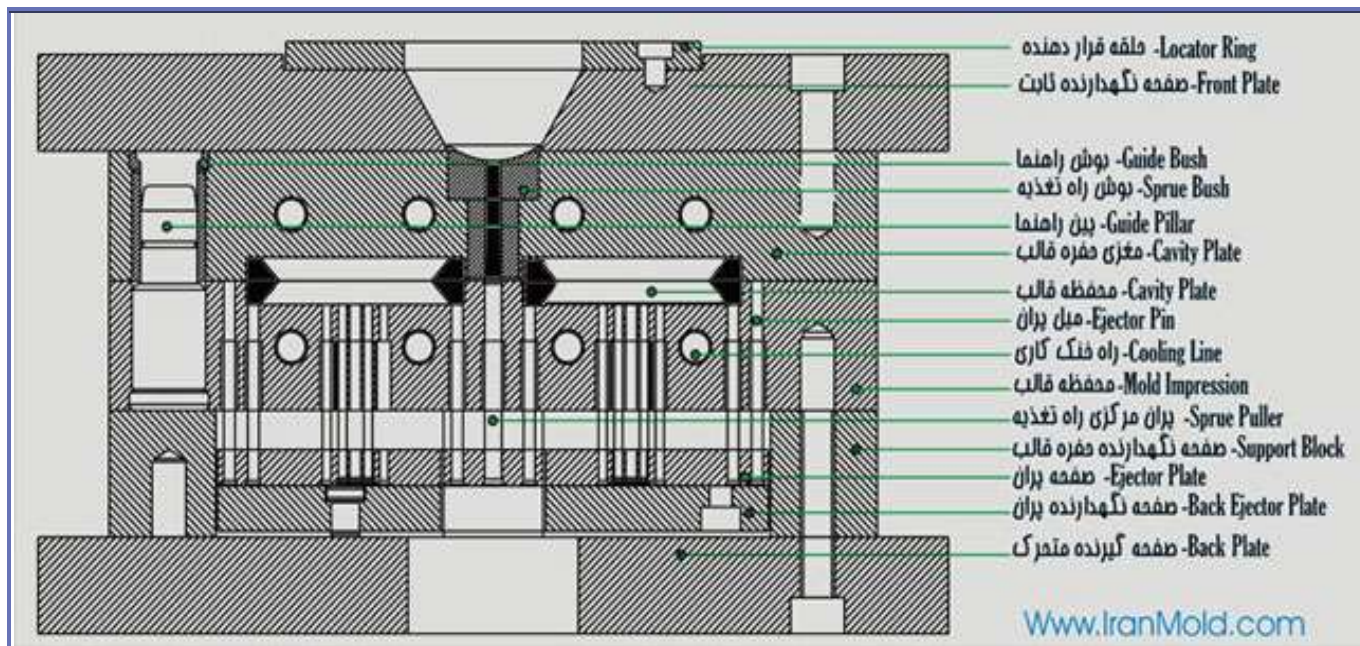


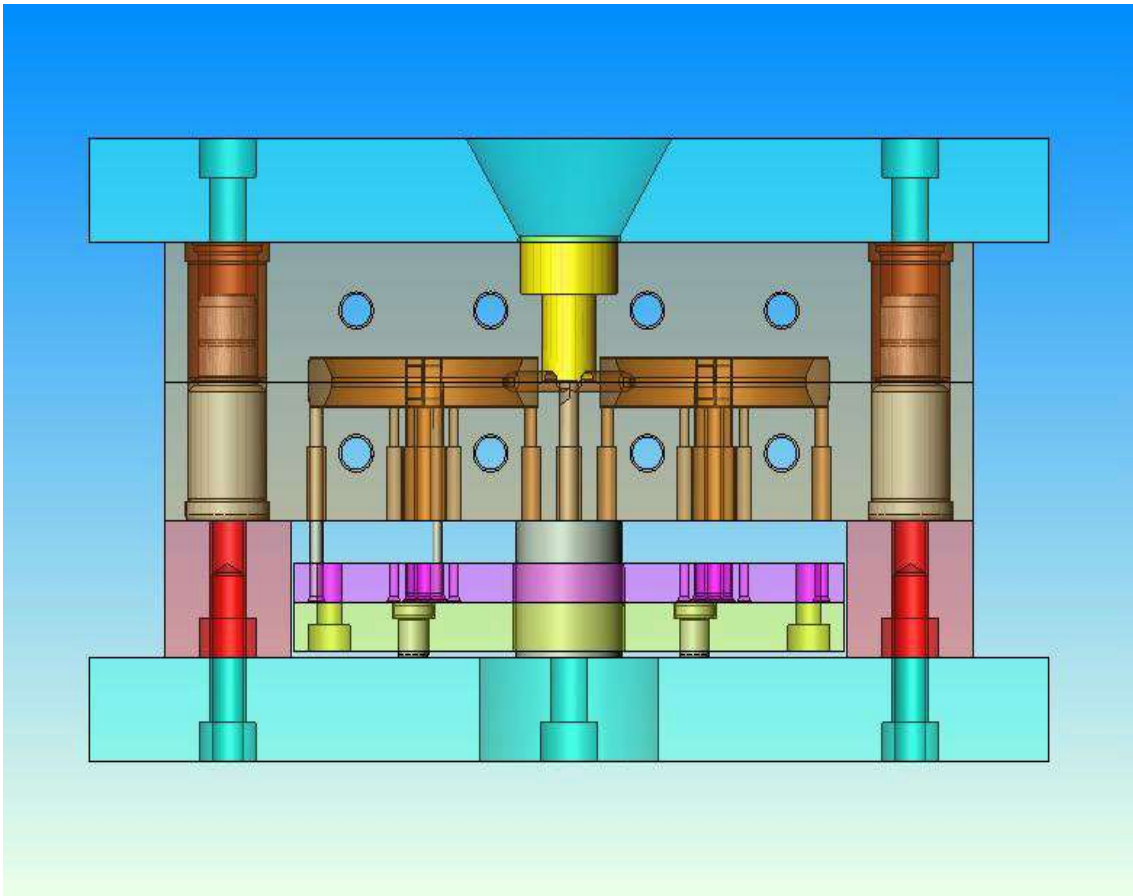
مرحله سوم



مشخصات اجزاء یک قالب تزریقی (طرح معمول در اروپا)

البته نباید فراموش کرد که ممکن است اصطلاحات دیگری در نقاط دیگر دنیا استفاده شود. کتابچه ISTA (انجمن بین المللی ابزارهای ویژه) در ارتباط با اصطلاحات اجزاء قالبهای تزریق موجود است.





فرآیندهای اکستروژن

انواع محصولات پلاستیکی اکستروژن شده

قالب گیری بادی

قالب گیری تزریقی بادی

قالب گیری اکستروژن بادی

مزیت فرآیند قالب گیری بادی

عیوب فرآیند قالب گیری بادی

لغت اکستروژن (Extrusion) از عبارت لاتین Extruder به معنی خارج (ex) و فشار دادن (Truder) است. در این فرآیند، پودر خشک، دانه‌ها یا پلاستیک‌های تقویت شده را گرم کرده و با فشار از میان یک روزنه فرم‌دار (Orifice) عبور می‌دهند که در واقع همان قالب اکستروژن است.

انواع محصولات پلاستیکی اکستروژن شده

پروفیل‌ها:

مقاطع پلاستیکی شکل‌دار طولی هستند که فرم سطح مقطع آنها گوناگون است. اینگونه قطعات معمولاً به صورت افقی اکستروژن می‌شوند.

لوله‌ها:

برای تولید لوله‌های پلاستیکی باید از یک قالب با سوراخ دایره‌ای (برای فرم دادن سطح خارج لوله) و یک ماندل (برای فرم دادن سطح داخل لوله) استفاده می‌شود.

ورق‌ها:

طبق استاندارد ASTM، به صفحات پلاستیکی با ضخامت کمتر از ۰,۲۵ mm "فیلم" و به صفحات پلاستیکی با ضخامت ۰,۲۵ mm "ورق" اطلاق می‌شود.

ورق‌ها معمولاً به عنوان ماده اولیه در عملیات فرم دادن حرارتی (Thermo forming) به کار می‌روند.

اکستروژن فیلم استوانه‌ای:

روش اکستروژن بادی فیلم‌های استوانه‌ای، یک فیلم نازک پلاستیکی به صورت استوانه‌ای بزرگ از پلاستیک مذاب اکستروود می‌شود. بدین ترتیب یک فیلم نازک به فرم استوانه‌ای از قالب خارج می‌شود لوله‌های پلاستیکی دیگر نیز به همین روش تولید می‌شوند. فیلم استوانه‌ای نازک پس از خروج از ماتریس توسط دمیدن هوا به داخل آن منبسط می‌شود تا ضخامت فیلم به حد دلخواه برسد. لوله‌های دمنده هوا در خارج از فیلم نیز تعبیه می‌شوند تا بادمش هوا، فیلم پلاستیکی را سرد کنند.

پوشش دادن قطعات با اکستروژن:

کاغذ، پارچه، مقوا و فلز را می‌توان به این روش با مواد پلاستیکی پوشش‌دار کرد. در این روش یک لایه نازک از پلاستیک مذاب بر روی قطعه کار اصلی نشانده می‌شود، بدون آنکه برای این کار از چسب استفاده گردد. این عمل با عبور قطعه کار اصلی و پوشش پلاستیکی از بین غلتک‌هایی که آنها را به هم فشرده می‌کند، انجام می‌شود. البته در مواردی احتیاج به چسب وجود دارد که در اینگونه موارد قطعه کار اصلی گرم شده و چسبناک می‌شود و سپس با پلاستیک پوشش‌کاری می‌گردد.

قالب گیری بادی (Blow molding)

این فرآیند (Blow molding) را می توان در فرآیندهای قالب گیری پلاستیک ها نیز طبقه بندی کرده زیرا در آن، ماده پلاستیکی داغ با اعمال فشار به بدنه یک قالب فرم دار چسبانده شده و فرم قالب را به خود می گیرد. ولی از آن جهت که در قالب گیری بادی، یک لوله پلاستیکی داغ به روش اکستروژن ایجاد شده و برای شکل دادن وارد قالب می شود، این روش جزء فرآیندهای اکستروژن پلاستیک ها معرفی شده است. فرآیند قالب گیری بادی، شبیه به روش قالب گیری بطری ها و دیگر ظروف شیشه ای مشابه است که در آن یک قطعه یا ظرف پلاستیکی توخالی ساخته می شود. همانطور که گفته شد، این روش از سالیان بسیار دور برای ساخت ظرف های شیشه ای رایج بوده است. ولی استفاده از آن برای ظروف پلاستیکی از اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی آغاز شد. در سال ۱۸۸۰، دو ورقه سلولزی گرم شده در یک قالب بر روی هم قرار داده شده و با اعمال هوای فشرده بین آن دو، یک اسباب بازی کودکانه ساخته می شد. این مورد شاید اولین مورد از تولید یک قطعه ترموپلاستیکی به روش قالب گیری بادی به شمار می رود.

در شکل..... نحوه کار نشان داده شده است. یک لوله از جنس پلاستیک مذاب به داخل محفظه قالب اکستروژن می شود و قالب را در این حالت می بندند. سپس هوای فشرده را به داخل لوله پلاستیکی وارد می کنند تا منبسط شده و به دیواره های قالب بچسبد. پس از خنک شدن قطعه کار می توان قالب را باز کرده و آن را از قالب بیرون آورد.

قالب گیری بادی به روش اصلی انجام می شود.

۱- قالب گیری تزریقی بادی.

۲- قالب گیری اکستروژن بادی.

قالب گیری تزریقی بادی

یک روش دقیق در ساخت قطعات تو خالی پلاستیکی است، به طوری که می توان ضخامت قطعه کار در نواحی مختلف را بخوبی کنترل کرد و همه قطعات تولیدی دارای ضخامت یکسانی خواهند بود. عیب مهم این روش این است که برای تولید قطعه، لازم است دو دست قالب ساخته شود، که یکی برای

تولید پیش فرم (شکل.....) و دیگری برای تولید قطعه کار نهایی (شکل.....). قطعه کار پیش فرم را گرم کرده و در قالب بادی قرار می دهند. سپس هوای فشرده را به درون پیش فرم وارد می کنند تا منبسط شده و به دیواره های قالب بچسبد.

قالب گیری اکستروژن بادی

در این روش، یک لوله از پلاستیک مذاب از بالای قالب اکستروژن شده و به داخل قالب وارد می شود. در این حالت دو نیمه قالب بسته شده و انتهای باز لوله نیز بسته می شود.

مزیت فرآیند قالب گیری بادی

- ۱- اغلب ترموپلاستیک ها و بسیاری از ترموست ها را می توان در این فرآیند به کار برد.
- ۲- هزینه قالب های این فرآیند، کمتر از فرآیند قالب گیری تزریقی است.
- ۳- مواد پلاستیکی در قسمت اکستروژن به خوبی با هم ترکیب و یکنواخت می شوند.
- ۴- مواد پلاستیکی در قسمت اکستروژن به خوبی ذوب و نرم می شوند.
- ۵- همانند بسیاری از فرآیند قالب گیری دیگر، در این روش نیز از اکستروژن به عنوان یک بخش اصلی استفاده می شود.

۶- طول لوله اکستروژن شده، عملاً می تواند خیلی طولی باشد.

عیوب فرآیند قالب گیری بادی

- ۱- گاهی اوقات لازم است از عملیات تکمیلی پر هزینه ای در تولید قطعات استفاده شود.
- ۲- هزینه تامین ماشین آلات اصلی و جانبی بالاست.
- ۳- مقداری زایدات پلاستیکی در این فرآیند تولید می شود.
- ۳- تنوع شکل محصولات و فرم لوله اکستروژن شده محدود است.

ترموفرمینگ



آیا می دانید بسیاری از قطعات پلاستیکی از ظروف یک بار مصرف (مثلا ظرف های شله زرد) گرفته تا تطلق

های بسته بندی محصولات و یا حتی داشبورد خودرو به روش ترموفرمینگ ساخته می شوند!

ترمو فرمینگ یا شکل دهی حرارتی، یکی از روشهای پر کاربرد شکل دهی پلاستیک هاست. در این فرآیند

ابتدا ورق پلاستیکی گرما نرم (ترمو پلاست) آنقدر حرارت می بیند تا نرم و انعطاف پذیر شود. سپس این ورق

روی قالب گذاشته شده و با اعمال فشار هوا یا ایجاد خلا و یا به صورت مکانیکی روی قالب کشیده می شود و

شکل قالب را به خود می گیرد.

ورق ماده اولیه به روش اکستروژن تولید می شود. بسته به ضخامت، ورق اولیه می تواند به شکل ورقه های مجزا

یا ورق توپ پیوسته باشد.

فرآیند ترموفرمینگ از دو مرحله اصلی تشکیل شده است:

الف) گرمادهی

ب) شکل دهی

الف (گرمادهی : در این مرحله ورق پلاستیکی گرمانرم (ترمو پلاست) آنقدر حرارت می بیند تا نرم و انعطاف شود. عمل گرمادهی معمولاً با استفاده از المنت های حرارتی که یک یا هر دو طرف ورق پلاستیکی و با فاصله ای معین از آن قرار می گیرند، انجام می شود. با توجه به جنس پلیمر و ضخامت ورق میزان گرمادهی می بایست کاملاً مشخص و تنظیم شده باشد.

ب) شکل دهی : روش هایی که برای انجام مرحله ی شکل دهی به کار می روند را می توان به سه دسته تقسیم کرد:

(Vacuum Forming) ۱- وکیوم فرمینگ یا شکل دهی با خلا

(Pressure Forming) ۲- وکیوم فرمینگ یا شکل دهی با فشار هوا

(Mechanical Thermoforming) ۳- وکیوم فرمینگ یا شکل دهی مکانیکی

(Vacuum Thermoforming) وکیوم ترمو فرمینگ:

مراحل انجام این فرآیند مطابق شکل زیر است.

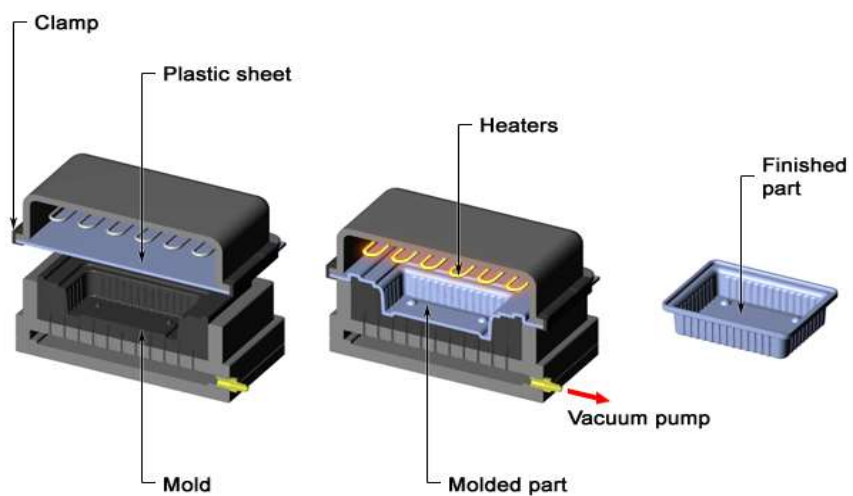
۱- ورق پلاستیکی اکستروود شده، با حرارت دادن نرم و انعطاف پذیر می شود.

۲- ورق نرم شده روی قالب حفره دار قرار می گیرد.

۳- خلا ایجاد شده و این خلا ورق را درون قالب می کشد.

۴- پلاستیک در تماس با سطح قالب که سرد است، سخت می شود. سپس قطعه از قالب خارج شده و

قسمت های اضافی آن بریده می شود.

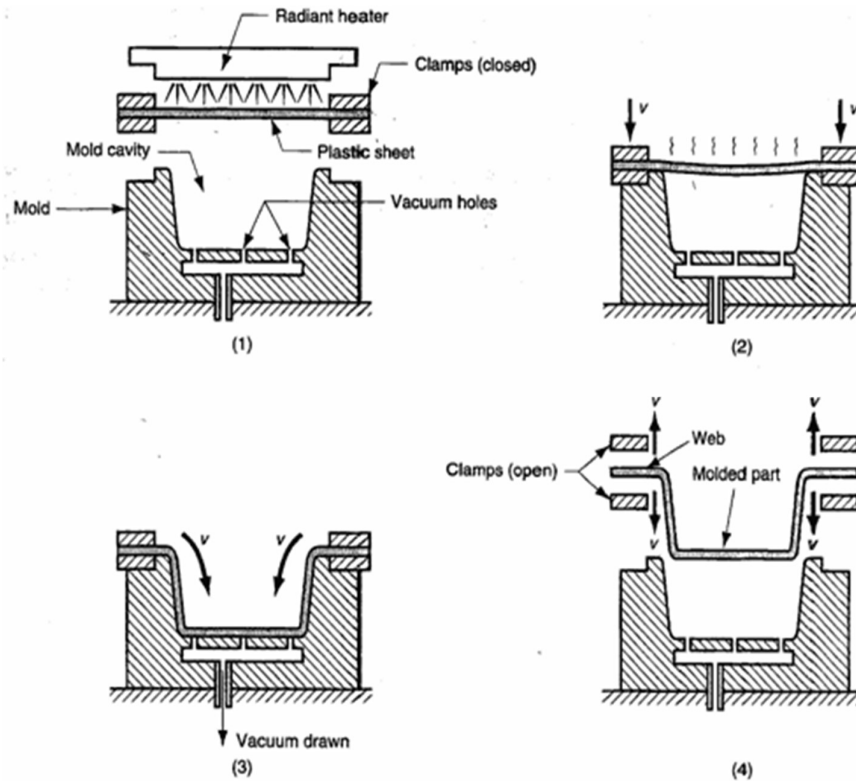


Copyright © 2008 CustomPartNet

وکیوم و کیوم

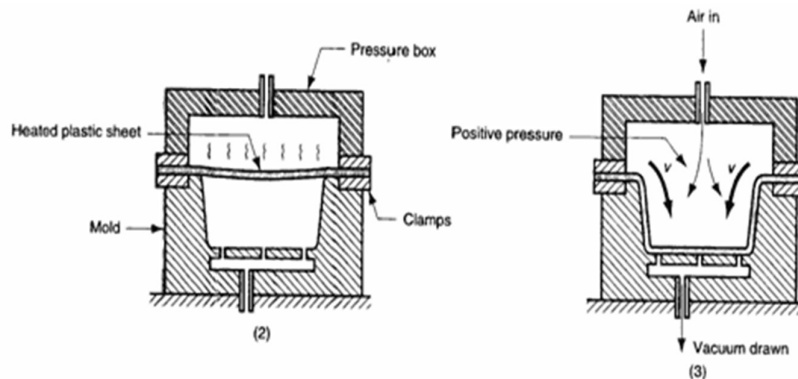
و کیوم فرمینگ

- ۱- حرارت دهی ورق پلاستیکی تا نرم شدن آن
- ۲- قرار دادن ورق نرم روی قالب
- ۳- شکلدهی ورق نرم شده با استفاده از مکش خلا یا فشار هوا یا مکانیکی
- ۴- سر شدن قطعه در تماس با بدنه سرد قالب و حذف اضافات قطعه



گفتیم که سه روش برای مرحله شکل دهی ورق نرم شده استفاده میشه: ۱- شکلدهی با خلا ۲- شکلدهی با فشار هوا و ۳- شکلدهی مکانیکی. که در تصویر بعدی نوع استفاده از فشار هوا رو میبینید.

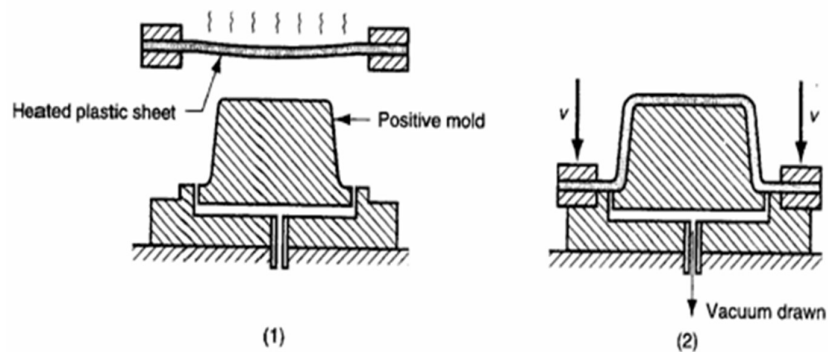
...



ترموفرمینگ با استفاده از فشار مثبت هوا و در قالب منفی

در ادامه پست قبلی، در اینجا لازم است به تفاوت قالب های مثبت و منفی پردازیم. قالب های نشان داده شده در تصویر بالا، قالب های منفی (Cavity) نامیده می شوند. دلیل این نام گذاری وجود حفره های مقعر در این نوع قالب است. بر عکس این، یک قالب مثبت حالت محدب و برآمده دارد. هر دو نوع این قالب ها در ترموفرمینگ قابل استفاده اند. در قالب های مثبت، ورق گرم شده روی برآمدگی قالب قرار داده می شود. سپس

فشار مثبت یا منفی (خلا) به کار می رود تا پلاستیک را روی سطح قالب به طور کامل بنشانند. در تصویر زیر قالب مثبت در حین فرآیند و کیوم فرمینگ نشان داده شده است.



و کیوم فرمینگ با قالب مثبت

با استفاده از قالب های مثبت در و کیوم ترمو فرمینگ : ۱- ورق گرم شده بالای سطح قالب قرار می گیرد. ۲- همزمان با اعمال مکش خلا برای قرار دادن ورق روی سطح قالب، گیره یا نگهدارنده ی ورق هم به سمت پایین حرکت می کند.

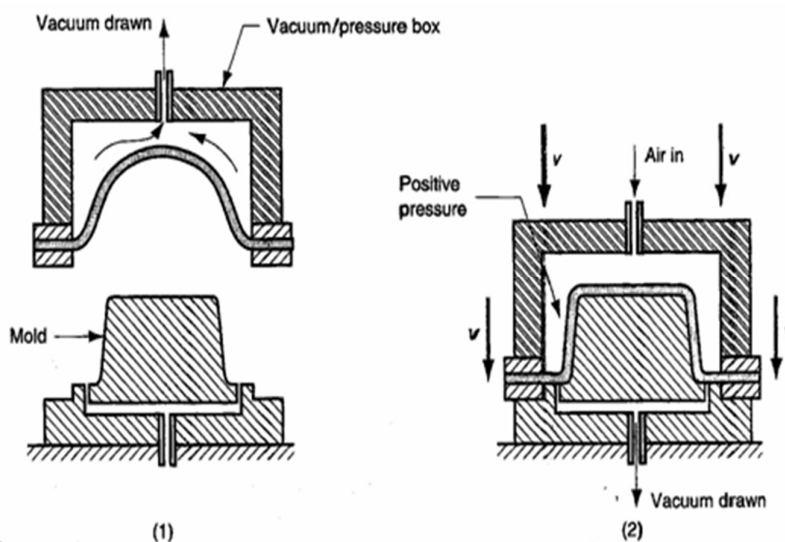
همان طور که در تصویر می بینید، فرم قطعه در هر دو نوع قالب کاملاً مشابه هم است. به همین علت ممکن است، تفاوت بین قالب های مثبت و منفی بی اهمیت به نظر برسد. اما در واقع ، در قالب منفی سطح خارجی قطعه دقیقاً مطابق فرم سطح حفره ی قالب است ولی سطح داخلی آن خیلی دقیق نیست و تقریبی از فرم قالب را به خود می گیرد. عکس این مساله هنگام استفاده از قالب های مثبت رخ می دهد. در این حالت، ورق سطح داخلی قطعه عیناً همانند برآمدگی قالب است و سطح خارجی آن شکلی تقریبی از آن. با توجه به الزامات محصول، این وجه تمایز اهمیت پیدا می کند.

تفاوت دیگر در پدیده نازک شدن ورق پلاستیک است. به جز مواردی که عمق فرم قطعه بسیار کم است، در سایر موارد، هنگام کشیدن ورق روی قالب، ضخامت ورق کاهش می یابد.

قالب های مثبت و منفی الگوی نازک شدن متفاوتی را در تولید یک قطعه معین، به وجود می آورند.

به عنوان مثال قطعه ی کاسه مانند بالا را در نظر بگیرید: در قالب های مثبت، همزمان با قرار گرفتن ورق روی قالب، قسمتی که با سطح بالایی قالب در تماس قرار می گیرد (کف کاسه)، بلافاصله منجمد شده و اصلا دچار کشش نمی شود. این مساله باعث می شود تا شاهد ضخیم بودن کف ظرف و البته نازک شدن قابل توجه دیواره آن باشیم. اما در قالب های منفی، کشش و نازک شدن ورق قبل از تماس با سطح سرد به صورت متعادل تری است.

با توجه به این مساله، یکی از روش های که در قالب های مثبت، برای یکنواخت تر کردن ضخامت نهایی ورق پس از شکلدهی به کار می رود، این است که ورق، قبل از قرار گرفتن روی سطح برآمده قالب کشیده شود. همان طور که در تصویر زیر دیده می شود، ورق پلاستیک گرم شده، قبل از قرار گرفتن روی قالب به سمت بالا، به حالت کروی مانند کشیده می شود. این کشش اولیه می تواند با استفاده از خلا از بالا و یا با اعمال فشار مثبت هوا از سمت قالب هم انجام شود.



و کیوم فرمینگ با قالب مثبت و بهینه شده با کشش اولیه

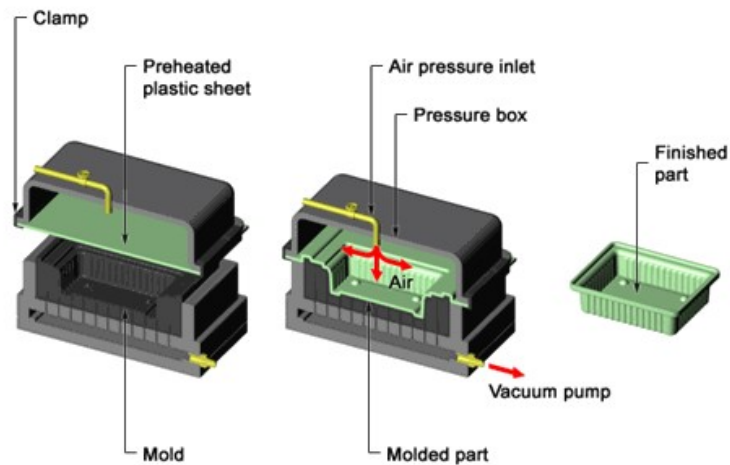
(Pressure Forming) شکل دهی با فشار هوا:

بر خلاف وکیوم فرمینگ، در این روش از فشار مثبت هوا برای اعمال نیرو بر ورق گرم شده جهت قالب گیری استفاده می شود. یکی از مزیت های این روش نسبت به وکیوم فرمینگ ، این است که در اینجا با محدودیت حداکثر فشار تئوری (حداکثر ۱ اتمسفر) که در وکیوم فرمینگ وجود دارد، رو به رو نیستیم. مراحل فرآیند مشابه وکیوم فرمینگ است با این تفاوت که در این حالت ورق با فشار هوا از سمت بالا، به حفره ی قالب می چسبد. البته لازم به ذکر است که برای خروج هوای به دام افتاده میان ورق و قالب، منافذی در قالب تعبیه شده است.

ترمو فرمینگ با فشار هوا: مراحل مشابه شکل قبل است با این تفاوت :

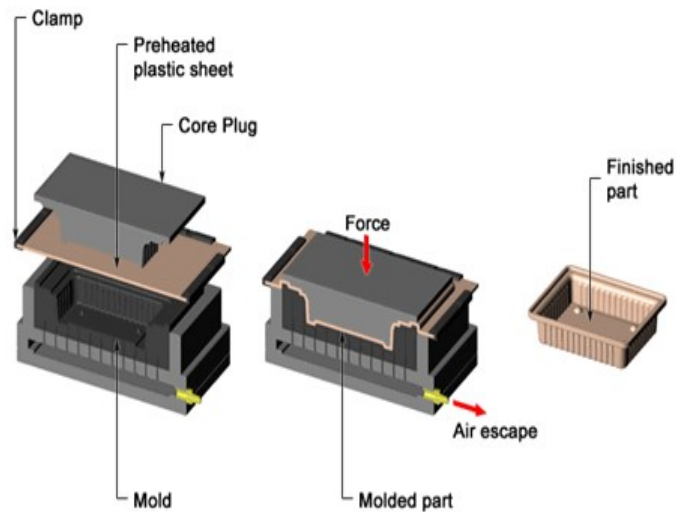
۲- ورق روی حفره قالب قرار می گیرد.

۳- فشار مثبت هوا ورق را به درون قالب می راند.



(Mechanical Thermoforming) ترموفرمینگ مکانیکی:

در سومین حالت ، ورق پلاستیکی گرم‌انرم به صورت مکانیکی و با نیروی تماس مستقیم شکل داده می شود. در این روش، قسمت مثبت قالب (Core) ، ورق را به سمت حفره قالب یا همان قسمت منفی (Cavity) هل داده و به شکل مطلوب در می آورد. در نوع ترموفرمینگ مکانیکی خالص، از فشار هوا یا خلا استفاده نمی شود. مهم ترین مزیت این روش ، دقت ابعادی بهتر محصول و دقیق تر بودن جزئیات هندسی آن در هر دو روی قطعه، نسبت به دو روش پیشین است. عیب اصلی ترموفرمینگ مکانیکی این است که در این روش هر دو قسمت مثبت و منفی قالب مورد نیاز است و بنابراین هزینه ی تولید آن از دو روش دیگر بیشتر است.

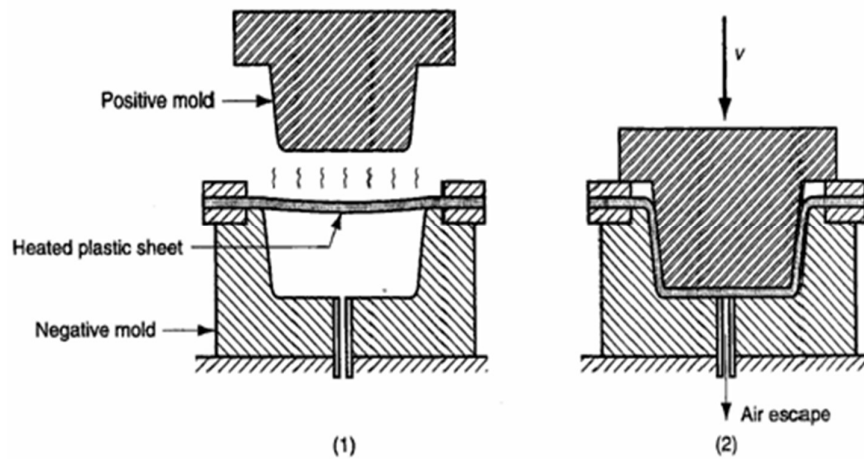


Copyright © 2008 CustomPartNet

ترموفرمینگ مکانیکی

مرحله ی نشان داده شده در تصویر ۱، به تنهایی نیز می تواند به عنوان روشی برای تولید قطعات کروی شکل و گنبدی مانند، همچون پنجره های سقفی و گنبد های شفاف به کار رود. در این فرآیند میزان فشار هوا برای باد کردن ورق نرم شده، کاملاً دقیق و کنترل شده است. این فشار، تا سرد شدن قطعه ی باد شده به طور ثابت باقی می ماند.

با توجه به مطالب گفته شده در بالا، در قالب های مکانیکی ترموفرمینگ که هر دو نوع مثبت و منفی قالب، به طور همزمان استفاده می شود، کیفیت سطح و دقت ابعادی و جزئیات سطوح در هر دو سمت قعظه در سطحی مطلوب و به یک اندازه است.



ترموفرمینگ مکانیکی (الزام استفاده از هر دو قالب مثبت و منفی به طور همزمان)

قالب گیری چرخشی: (Rotational Molding)

فرآیند قالبگیری دورانی یکی از فرآیندهای شکل دهی پلاستیک هاست که در دمای بالا، فشار پایین و به صورت قالب باز جهت تولید قطعات توخالی، یکپارچه و بدون تنش های پسماند به کار می رود. در این فرآیند با حداقل هزینه، اشکال بسیار پیچیده با کمترین میزان ضایعات تولید می شوند. قالب گیری چرخشی در فشار اتمسفر انجام می شود و به جای استفاده از ذوب کردن و تزریق مواد به داخل قالب، مواد در داخل قالب ذوب می شوند. در این فرآیند برای انتقال حرارت مناسب در قالب معمولاً از ماده قالب گیری شونده پودری استفاده می گردد.

عوامل تأثیر گذار در این فرآیند عبارت هستند از: دما، زمان قالب گیری، روش و سرعت سرد کردن، سرعت چرخش قالب و نسبت سرعت محورهای چرخش.

این فرآیند از چهار مرحله تشکیل شده است:

الف) پر کردن قالب (charging)

در این مرحله قالب که به شکل محصول نهایی طراحی شده است باز می شود و مقدار معینی از ماده پلیمری مورد نظر به صورت پودر یا مایع در نیمه پایینی قالب ریخته می شود

ب) حرارت دهی (Heating)

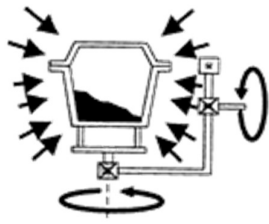
پس از بسته شدن قالب ماشین شروع به کار می کند و قالب حول دو محور عمود برهم در داخل کوره می چرخد. انتقال حرارت در داخل کوره موجب می شود تا پودر به دمای ذوب رسیده، شروع به ذوب شدن کند و سطح داخلی قالب را به شکل یکنواختی پوشش دهد.

ج) سرد کردن (Cooling)

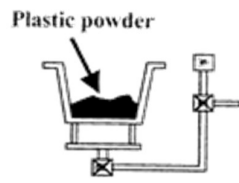
در این مرحله قالب در حال چرخش وارد ایستگاه خنک کننده می شود. با سرد شدن قالب به وسیله جریان هوا یا پاشش آب، پلیمر درون آن نیز سرد می شود و قطعه نهایی شکل می گیرد.

د) تخلیه محصول (Demolding)

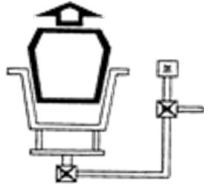
در این مرحله ماشین از حرکت می ایستد و قطعه نهایی با باز کردن نیمه قالب از درون آن خارج می شود.



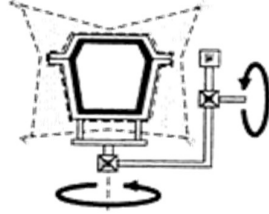
(ب)



(الف)



(د)



(ج)



مواد مرکب

۱-۱ مقدمه

امروزه، برای مواد مورد استفاده در تجهیزات مختلف، خواص متنوعی با توجه به شرایط کاری آنها نیاز است. در ساخت تجهیزات فضایی به موادی نیاز است تا بتواند بارگذاری و شوک حرارتی در مسیر حرکت از سطح زمین را تحمل کند و در درجه حرارت کم فضا عملکرد خوبی از خود نشان دهد، یا در راکتورهای هسته ای به موادی نیاز است تا استحکام خود را در درجه حرارت بسیار بالا حفظ کند یا ممکن است مواد تحت اثر فشار بسیار زیاد در اعماق اقیانوس قرار گیرد. بنابراین انتخاب ماده ی مناسب برای ساخت این تجهیزات، با توجه به شرایط کاری آنها، از موضوع های مهم مهندسی است. تا کنون بیش از ۵۰،۰۰۰ نوع ماده شناخته شده اند که برای طراحی و ساخت محصولات در صنایع مختلف استفاده می شوند و به گستره ی وسیعی از مواد شامل مواد ژئیشرفته مانند سوپرآلیاژها، سرامیک های مهندسی و مواد مرکب تقسیم می شوند. برای طراحی مناسب قطعات

مورد استفاده در تجهیزات مختلف نیاز است مواد موجود شناسایی شوند تا بتوان برای ساخت قطعات مختلف موادی را انتخاب کرد که ویژگی های یک انتخاب بهینه را داشته باشد. بررسی رفتار هر یک از مواد موجود و انتخاب یکی از آنها بسیار مشکل است و برای سهولت شناسایی و انتخاب ماده، مواد موجود بر اساس خواص آنها طبقه بندی شده است.

مواد موجود را می توان براساس ساختار شیمیایی و خواص فیزیکی آنها به چهار گروه اصلی تقسیم کرد: مواد فلزی، مواد پلیمری، مواد سرامیکی و مواد مرکب. هر گروه شامل تعداد زیادی مواد است که خواص آنها در محدوده ی معینی تغییر می کند و ممکن است در بعضی از مواقع با خواص گروه های دیگر نیز هم پوشانی داشته باشد.

برای آشنایی بیشتر با تعدادی از مواد هر گروه، که در صنعت استفاده ی زیادی از آنها میشود، در جدول (۱-۱) برخی از خواص رایج آنها مانند چگالی، مقاومت به تغییر شکل، استحکام و حداکثر دمای کاری آورده شده است. افزایش دما موجب کاهش استحکام و مقاومت به تغییر شکل ماده می شود و حداکثر دمای کاری برای شرایطی بیان شده است که ماده حداقل ۹۰ درصد استحکام خود را حفظ کند. برای معرفی مواد مرکب و جایگاه آنها در مقایسه با مواد دیگر، شرح مختصری از ساختار شیمیایی و خواص گروه های مختلف مواد بیان می شود. در جدول (۱-۱) نسبت استحکام و مدول کششی بر چگالی ماده برای مقایسه آورده شده است و موادی که استحکام ویژه و مدول ویژه بیشتری دارند خواص مورد نظر را در جرم کمتری تأمین می کنند.

جدول (۱-۱) خواص برخی از مواد مهندسی [۱]

نوع ماده	چگالی ρ (Kg/m ³)	مدول کشسانی E (GPa)	استحکام کششی σ (GPa)	مدول کشسانی ویژه E/p	استحکام کششی ویژه σ/p	حداکثر دمای کارکرد (C)
فلزات	چدن، درجه ۲۰	۷۰۰۰	۱۰۰	۰/۱۴	۱۴/۳	۲۳۰-۳۰۰
	فولاد AISI 1045	۷۸۰۰	۲۰۵	۰/۱۵۷	۲۶/۳	۵۰۰-۶۵۰
	آلومینیم ۲۰۲۴ با عملیات T4	۲۷۰۰	۷۳	۰/۴۵	۲۷/۰	۱۵۰-۲۵۰
	آلومینیم ۶۰۶۱ با عملیات T6	۲۷۰۰	۶۹	۰/۲۷	۲۵/۵	۱۵۰-۲۵۰
کامپوزیت	نایلون ۶۱۶	۱۱۵۰	۲/۹	۰/۰۸۲	۲/۵۲	۷۵-۱۰۰
	پلی پروپیلن	۹۰۰	۱/۴	۰/۰۳۳	۱/۵۵	۵۰-۸۰
	اپوکسی	۱۲۵۰	۳/۵	۰/۰۶۹	۲/۸	۸۰-۲۱۵
	فنولیک	۱۳۵۰	۳/۰	۰/۰۰۶	۲/۲۲	۷۰-۱۲۰
سرامیک	آلمینا	۳۸۰۰	۳۵۰	۰/۱۷	۹۲/۱	۱۴۲۵-۱۵۴۰
	اکسید منگنز	۳۶۰۰	۳۵۰	۰/۱۷	۹۲/۱	۱۴۲۵-۱۵۴۰
ماده مرکب الیاف	اپوکسی با ۲۵٪ الیاف شیشه	۱۹۰۰	۲۵	۰/۳۰	۸/۲۶	۸۰-۲۰۰
	پلی استر با ۲۵٪ الیاف شیشه	۲۰۰۰	۱۵/۷	۰/۱۳	۷/۲۵	۸۰-۱۲۵
	نایلون با ۲۵٪ الیاف شیشه	۱۶۲۰	۱۴/۵	۰/۲۰	۸/۹۵	۷۵-۱۱۰
	نایلون با ۶۰٪ الیاف شیشه	۱۹۵۰	۲۱/۸	۰/۲۹	۱۱/۱۸	۷۵-۱۱۰
ماده مرکب الیاف کربن	اپوکسی با ۴۵٪ الیاف شیشه	۱۸۱۰	۳۹/۵*	۰/۸۷*	۲۱/۸*	۸۰-۲۱۵
	اپوکسی با ۶۱٪ الیاف کربن	۱۵۹۰	۱۴۲*	۱/۷۳*	۸۹/۳*	۸۰-۲۱۵
	اپوکسی با ۲۵٪ الیاف کولار	۱۳۵۰	۶۳/۶*	۱/۱*	۴۷/۱*	۸۰-۲۱۵

* مدول کشسانی یا استحکام ماده مرکب در جهت الیاف

۱. مواد فلزی

در گذشته فلزات بیشترین کاربرد را در ساخت قطعات مختلف در مقایسه با مواد دیگر داشتند. مواد فلزی رایج شامل فولاد، آلومینیوم، مس، منیزیم، روی، نیکل و تیتانیوم است که سابقه ی دیرینه ای در طراحی و ساخت تجهیزات مختلف دارند. معمولاً برای بهبود خواص مکانیکی فلزات خالص، از آلیاژهای آنها استفاده می شوند

که از ترکیب آنها با فلزات مختلف و گاهی غیرفلزات در مقیاس میکروسکوپی ایجاد می شوند. برای مثال، افزودن کمتر از ۱ درصد کربن به آهن خالص موجب افزایش قابل توجه استحکام می شود.

اکثر فلزات در مقایسه با مواد پلیمری چگالی بالایی دارند و فقط تعداد محدودی از آنها مانند آلومینیم، منیزیم و بریلیم در مقایسه با فلزات دیگر کمترین مقدار چگالی را دارند. از طرف دیگر، اغلب فلزات استحکام و مقاومت بالایی در برابر تغییر شکل دارند و در مقایسه با مواد پلیمری در درجه حرارت بالاتری می توانند استفاده شوند. در فلزات، الکترون های آزادی وجود دارند که می توانند اتم های مادر خود را رها کنند. حرکت این الکترون ها سبب انتقال بار الکتریکی و انرژی گرمایی می شود که باعث افزایش رسانایی حرارتی و الکتریکی فلزات در مقایسه با مواد دیگر می شود. در صورتی که در مواد پلیمری و سرامیکی، الکترون ها آزادانه حرکت نمی کنند.

۲. مواد پلیمری

در دو دهه ی اخیر، توجه زیادی به مواد پلیمری در کاربردهای مهندسی شده است. چگالی کم، سهولت انجام عملیات تولید، و مقاومت بالا در برابر خوردگی موجب شده است که این مواد در صنایع مختلف استفاده شوند. مواد اولیه ی پلیمرها به صورت پودر، ورق یا میله با مقاطع مختلف وجود دارند و هندسه ی نهایی قطعات با استفاده از عملیات تولید مانند شکل دهی یا تزریق در داخل قالب ایجاد می شوند. فرآیند شکل دهی، پرداخت مناسبی در سطح این مواد ایجاد می کند که موجب حذف برخی از عملیات ماشین کاری می شود. این مواد در درجه حرارت بالا، پایداری ابعادی و استحکام خود را از دست می دهند و معمولاً نقطه ذوب کمتری در مقایسه با فلزات دارند.

۳. مواد سرامیکی

از ترکیب اتم های فلزی و غیر فلزی مواد سرامیکی تشکیل می شوند که معمولاً پیوند قوی بین آنها ایجاد می شود و برای جدا کردن این پیوند انرژی زیادی نیاز است. بنابراین مواد سرامیکی به صورت مواد دیر گذار رفتار می کنند و استحکام بالایی دارند. این مواد در برابر سایش و مواد خورنده شیمیایی مقاومت خوبی دارند. مواد

سرامیکی بر خلاف اغلب فلزات رفتار تدری از خد نشان می دهند و انعطاف پذیری بسیار کمی دارند. فرآیند تولید قطعات از مواد سرامیکی در درجه حرارت بالا انجام می شود و به علت مقاومت بالا در برابر سایش، به سختی ماشین کاری می شوند. هزینه برش کاری و ماشین کاری آنها زیاد است و برای انجام این عملیات نیاز به ابزارهایی از جنس خاص مانند کاربید و الماس است [۲].

۴. مواد مرکب

مواد مرکب از ترکیب دو یا چند ماده در مقیاس میکروسکوپی ایجاد می شوند تا خواص مهندسی آنها در مقایسه با اجزای تشکیل دهنده ماده مرکب ساختار مولکولی خود را حفظ می کنند و پیوند شیمیایی بین آنها ایجاد نمی شود. برخلاف مواد مرکب، ترکیب برخی از مواد مانند آلیاژهای فلزات در مقیاس میکروسکوپی ایجاد می شود که به علت ایجاد یک ماده یکنواخت از دیدگاه میکروسکوپی، آلیاژهای فلزی به عنوان ماده مرکب معرفی نمی شوند.

مواد مرکب را بشر ابداع نکرده است، بلکه این مواد در طبیعت وجود دارند. برای مثال، چوب ماده مرکبی است که از ترکیب الیاف سلولزی و چسب طبیعی به نام لیگنین (Lignin) تشکیل می شود پوسته خارجی حلزون مثال دیگری از مواد مرکب طبیعی است که استحکام بسیار بالایی دارد. بشر با الهام از طبیعت، مواد مرکب متنوعی برای کاربردهای مختلف تولید و بسیاری از مشکلات صنایع مختلف را بر طرف کرده است. استفاده از مواد مرکب سابقه ای دیرینه دارد؛ به طوری که در مصر باستان از ترکیب کاه و گل، ماده مرکبی ایجاد شد که برای ساخت مصالح ساختمانی مناسب بود. ۸۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، فلسطینی ها از نی و حصیر برای تقویت آجرها کر دند و ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، اولین ماده مرکب پلیمری در خاورمیانه ساخته شد که برای اولین قیراندود کردن قایق ها به کار می رفت. ۱۵۰۰ سال قبل از میلاد نیز مواد مرکب لایه ای از چوب هایی ساخته شد که باچسب طبیعی به یکدیگر متصل می شدند. با گسترش علم شیمی، از سال ۱۸۴۷ تا ۱۹۰۹ میلادی، رزین هایی ساخته شد که برای ساخت مواد مرکب مناسب هستند. در سال ۱۹۳۰، مفاهیم اصلی مواد مرکب بیان شد و در یال ۱۹۴۲ پلی استر تقویت شده با الیاف شیشه ساخته شد و در ادامه آن مواد مرکب با رزین

اپوکسی در سال ۱۹۴۶ ساخته شد. به تدریج انواع مختلفی از زمینه ها و تقویت کننده های مختلف برای ساخت مواد مرکب استفاده شدند. امروزه، مواد مرکبی تولید می شوند که به علت استفاده از رشته های محکم و طویل با جرم کم، استحکام و مقاومت بالایی در برابر تغییر شکل دارند. این مواد برای ساخت بدنه های هواپیماها و وسایل فضایی بسیار مناسب هستند زیرا با کاهش جرم تجهیزات ساخته شده از مواد مرکب، راندمان این وسایل به مقدار چشمگیری افزایش میابد. تا کنون تلاش های زیادی شده است که مواد مرکب جایگزین فلزاتی مانند فولاد و آلومینیم شوند تا علاوه بر کاهش وزن، عملکرد قطعات فلزی نیز بهبود یابد. تغییر جنس قطعات از فولاد به مواد مرکب موجب ۶۰ تا ۸۰ درصد و جایگزینی قطعات آلومینیمی با مواد مرکب موجب ۲۰ تا ۵۰ درصد کاهش وزن تجهیزات شده است [۱].

مواد مرکب برای کاربردهای مختلفی طراحی می شوند به طوری که با کنار هم قرار دادن دو یا چند ماده مختلف و ایجاد اتصال بین آنها، سعی شده است تا خواص ماده حاصل با خواص مورد انتظار مطابقت داشته باشد. گاهی مواد مرکب در ساخت سازه هایی استفاده شده اند که نیاز است علاوه بر جرم کم، استحکام و مقاومت بالایی در برابر بارگذاری خارجی داشته باشد و در طراحی آنها نیاز است که با توجه به شرایط کاری، پایداری ابعادی و مقاومت خوردگی نیز در نظر گرفته شود. گاهی هدف از طراحی مواد مرکب دستیابی به خواص فیزیکی خاصی است که در مواد خالص این خواص وجود ندارد. برای مثال می توان به ساخت ماده مرکبی با ضریب انبساط صفر در جهتی مشخص اشاره کرد. این مواد برای ساخت قطعات تحت اثر تغییر درجه حرارت زیاد مناسب است زیرا از تغییر ابعاد و ایجاد تنش های حرارتی در جهت مورد نظر جلوگیری می کند.

۱-۲ ویژگی های مواد مرکب

از آنجا که در طراحی مواد مرکب می توان خواص مناسبی ایجاد کرد، که این خواص در مواد فلزی، پلیمری یا سرامیکی به صورت هم زمان وجود ندارند، به مواد مرکب در صنایع مختلف توجه زیادی شده است و همواره

سعی بر این است عملکرد تجهیزات مختلف را با استفاده از ماد مرکب بهینه کنند. برخی از خواص مواد مرکب را با طراحی مناسب آنها می توان بهبود داد که این خواص عبارتند از:

الف- مقاومت بالا در برابر تغییر شکل نسبت به جرم ماده

استفاده از مواد مقاوم در برابر تغییر شکل، در کنار مواد با چگالی کم، موجب افزایش مقاومت ماده زمینه در جهت های مورد نظر می شود در صورتی که می توان جرم آنها را در مقایسه با مواد فلزی کاهش داد.

ب- استحکام بالا نسبت به جرم ماده

با توزیع تقویت کننده های مناسب در ساختار مواد مرکب می توان مقدار نسبت استحکام قطعات به جرم حجمی آنها را تا ۵ برابر این مقدار در فلزاتی مانند فولاد و آلومینیم افزایش داد [۱].

پ- مقاومت خستگی (حد دوام)

مقاومت خستگی فلزاتی مانند فولاد و آلومینیم ۵۰ درصد کمتر از مقاومت استاتیکی آنهاست در صورتی که در برخی از مواد مرکب، مقاومت خستگی آنها را می توان تا مقدار ۹۰ درصد مقاومت استاتیکی آنها را افزایش داد [۱].

ت- مقاومت خوردگی

مواد مرکب با زمینه پلیمری، مقاومت خوردگی بسیار مناسبی حتی در برابر مواد شیمیایی از خود نشان می دهند. پدیده خوردگی مواد فلزی مانند فولاد و منیزیم مشکل عمده استفاده از آنهاست و نیاز است با ایجاد پوشش یا آلیاژهای خاص از آنها محافظت کرد.

ث- انعطاف پذیری در طراحی مواد

با توجه به خواص متنوع اجزای تشکیل دهنده مواد مرکب، خواص متنوعی را می توان با توجه به نیاز طراحی ایجاد کرد. برای مثال ایجاد ماده ای که بر اثر تغییر دما، هیچ تغییر ابعادی در جهت مشخصی ندارد با انتخاب مناسب مواد و لایه چینی در مواد مرکب امکان پذیر است و به همین دلیل می توان مواد مرکب با پایداری ابعادی خوبی طراحی کرد.

ج- قابلیت طراحی مواد مرکب مطابق با شرایط تولید و مونتاژ

هندسه ی پیچیده قطعات مواد مرکب را می توان با کنترل بر خواص آنها با روش های تولید متنوعی ایجاد کرد و تعداد قطعات و اتصالات را در سازه های مواد مرکب کاهش داد. بنابراین استفاده از مواد مرکب هزینه ساخت را کاهش و اطمینان از عملکرد تجهیزات ساخته شده از این مواد را افزایش می دهد.

چ- قابلیت جذب انرژی

تقویت کننده های مواد مرکب مانند کولار و شیشه انرژی زیادی برای تغییر شکل نیاز دارند. پس مواد مرکبی که با این مواد تولید می شوند ظرفیت تحمل بالایی در برابر بارهای ضربه ای دارند.

ح- جاذب ارتعاش

اغلب مواد مرکب بهتر از فلزات، ارتعاشات ایجاد شده در تجهیزات را مستهلک می کنند و به همین دلیل به این مواد در تجهیزات با اجزای متحرک توجه زیادی شده است.

خ- هزینه کم ابزارهای تولید

دما و نیروی کمی که برای ساخت برخی از مواد مرکب و ایجاد شکل مورد نظر نیاز است موجب شده است که هزینه تجهیزات تولید قطعات از این مواد کاهش یابد.

د- امکان ساخت قطعات با هندسه پیچیده

در مواد مرکب برخی از هندسه های پیچیده بدون نیاز به عملیات جوش کاری و پرچ کاری ساخته می شوند در صورتی که در فلزات این قطعات از مونتاژ چندین قطعه ساخته می شوند.

ذ- ساخت مواد هوشمند

با تعبیه حسگرهایی در داخل مواد مرکب، اندازه گیری دما و بررسی شرایط تخریب درحین استفاده از قطعات امکان پذیر است. این مواد را اصطلاحاً مواد هوشمند می نامند.

از معایب مواد مرکب می توان به قیمت بالای مواد اولیه، هزینه بالای برخی از فرآیندهای تولید و مونتاژ کاری اشاره کرد. مواد مرکب پلیمری نسبت به درجه حرارت و رطوبت محیط حساس هستند. استحکام ماده مرکب

در جهت عمود بر الیاف کم است و ممکن است در بارگذاری های فشاری، ورق های مواد مرکب در جهت عمود بر صفحه کمانش کنند. مواد مرکب پلیمری نسبت به عیوب ناشی از بارگذاری ضربه ای و جدایش بین لایه ای حساس هستند. تعمیر قطعات مواد مرکب در مقایسه با قطعات فلزی مشکلات بیشتری دارد.

در بخش بعد توضیح مختصری درباره کاربرد این مواد بیان می شود.

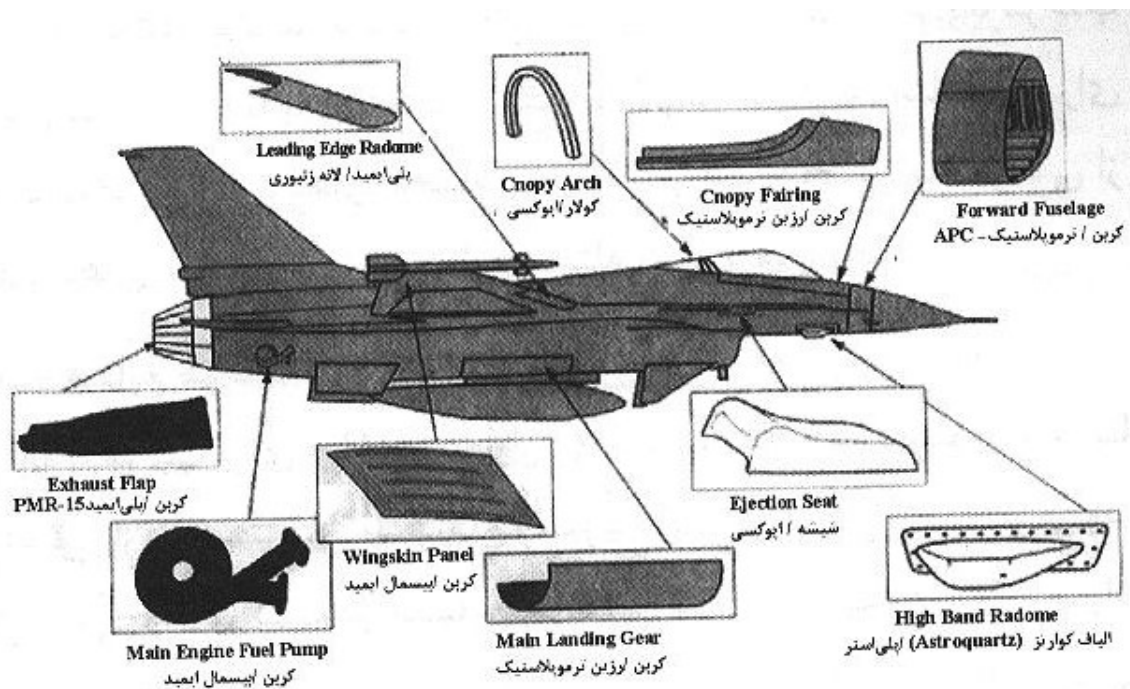
۱-۳ کاربرد مواد مرکب

خواص متنوع اجزای تشکیل دهنده مواد مرکب و قابلیت ایجاد خواص مهندسی مناسب موجب شده است که آنها کاربرد زیادی در زمینه مواد مرکب انجام شده است تا با شناخت بیشتر این مواد، جایگزین مناسبی برای مواد دیگر در کاربردهای مختلف می شوند. در این بخش به برخی از کاربردهای مواد مرکب در صنایع مختلف اشاره می شود.

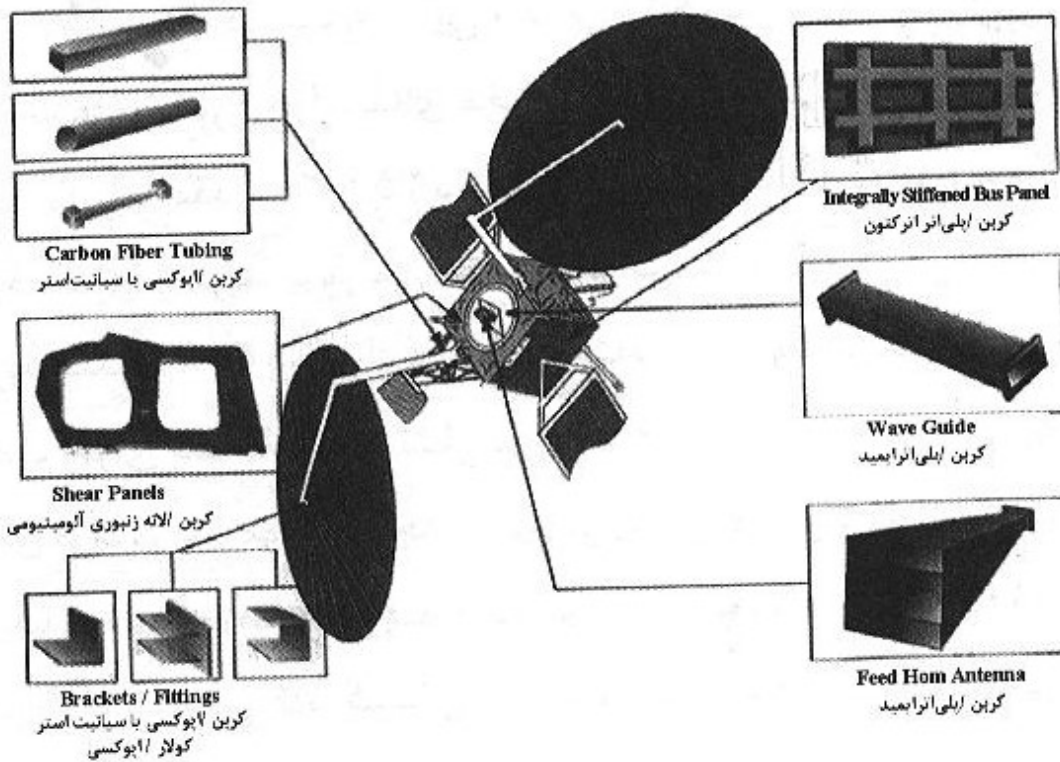
الف- صنایع هوافضا

از مواد مرکب برای ساخت وسایل پرنده استفاده می شود زیرا با کاهش وزن، دسترسی به ارتفاع و سرعت بیشتر امکان پذیر می شود. بنابراین مواد مرکب در صنایع هوافضا کاربرد بسیاری دارد. مواد مرکب با الیاف شیشه، کربن و کولار به صورت رایج در طراحی و ساخت اجزای مختلف صنایع هوافضا استفاده می شوند. شکل (۱-۱) کاربرد مواد مرکب در صنایع هوایی و در سازه هواپیماهای تجاری را نشان می دهد. مقایسه وزن هواپیماهای مختلف نشان می دهد استفاده از مواد مرکب وزن سازه را به مقدار ۲۰ تا ۳۵ درصد کاهش می دهد [۱] که موجب کاهش مصرف انرژی و هزینه پرواز می شود. مواد مرکب در صنایع فضایی نیز به کار می رود. شکل (۱-۲) برخی از قطعات ساخته شده از مواد مرکب به کار رفته در ساخت اجزای یک ماهواره را نشان می دهد. علاوه بر کاهش وزن، پایداری ابعادی مواد مرکب موجب توجه به آنها در صنایع فضایی شده است. در مدار

نزدیک به سطح زمین درجه حرارت در محدوده -100 تا $+100$ درجه سانتی گراد تغییر می کند که برای حرکت وسایل پرنده در این مدار نیاز است سازه آنها تحت اثر این درجه حرارت پایدار باشند. برای این منظور می توان از مواد مرکب با الیاف کربن و زمینه اپوکسی استفاده کرد به طوری که با طراحی مناسب این نوع ماده، ضریب انبساط طولی بسیار ناچیزی در آنها ایجاد کرد. بنابراین با استفاده از مواد مرکب می توان از تغییر شکل قطعات در حین عبور وسایل فضایی از لایه های نزدیک سطح زمین به مقدار زیادی جلوگیری کرد.



شکل (۱-۱) نمونه‌ای از کاربرد مواد مرکب در ساخت هواپیمای تجاری [۱]



شکل (۲-۱) نمونه‌ای از کاربرد مواد مرکب در ساخت سازه ماهواره [۱]

ب- صنایع خودروسازی

فرآیندهای متنوع تولید قطعات مواد مرکب و امکان ایجاد پرداخت سطح، تأمین استحکام مورد نیاز قطعات و کاهش وزن خودرو از مهمترین عواملی است که موجب شده است این مواد در تولید انبوه قطعات خودرو از مواد مرکب اهمیت زیادی دارد تا جایگزینی این مواد در تولید قطعات خودرو اقتصادی باشد. برای این منظور تحقیقات زیادی برای شناسایی فرآیند تولید قطعات مواد مرکب انجام شده است. مصرف مقدار سوخت در واحد مسافت از متغیرهایی است که عملکرد خودرو با آن ارزیابی می شود و با استفاده از مواد مرکب می توان وزن خودرو و در نتیجه مقدار مصرف سوخت را به میزان زیادی کاهش داد. با استفاده از مواد مرکب می توان کنترل خوبی بر سطح ظاهری قطعات تولید شده و خواص مکانیکی آنها داشت. از آنجا که هزینه نهایی تولید

قطعات در صنایع خودرو سازی اهمیت زیادی دارد از الیاف کربن با توجه به قیمت بالای آنها استفاده زیادی نمی شود و به الیاف شیشه برای تقویت قطعات مورد استفاده در صنایع خودروسازی توجه بیشتری می شود.

پ- صنایع ورزشی

از آنجا که در تجهیزات ورزشی، وزن کم، استحکام بالا و زیبایی سطح خارجی آنها اهمیت زیادی دارد از مواد مرکب برای ساخت تجهیزات ورزشی و قایق های کوچک استفاده زیادی می شود. ساخت بدنه اسکیت ها، لوازم اسکی، میله های قلاب ماهیگیری، بدنه دوچرخه و موتورسیکلت ها نمونه ای از کاربرد مواد مرکب در صنایع ورزشی است. برای ساخت تجهیزات ورزشی، که عملکرد آنها از نظر ورزشکاران حرفه ای اهمیت زیادی دارد، از الیاف کربن با وجود قیمت بالای آنها استفاده می شود که به عنوان مثال می توان به راکت تنیس و دسته گلف ساخته شده از ماده مرکب کربن - اپوکسی اشاره کرد.

ت- صنایع دریایی

مقاومت خوردگی و وزن کم مواد مرکب موجب شده است مواد مرکب در صنایع دریایی استفاده شوند. استفاده از این مواد در ساخت کشتی ها باعث افزایش راندمان و کاهش مصرف سوخت شده است. معمولاً در این صنایع از الیاف شیشه برای تقویت قطعات استفاده می شود. همچنین از مواد مرکب در ساخت لوله های انتقال نفت و گاز استخراج شده به پالایشگاه استفاده می شود زیرا وزن کم آنها هزینه نصب این خطوط را کاهش می دهد و مقاومت حرارتی آنها از تغییر درجه حرارت سیال داخل لوله تحت اثر عوامل محیطی جلوگیری می کند. از آنجا که لوله های ساخته شده از مواد مرکب بدون نیاز به فرآیند جوش کاری و با چسب به یکدیگر متصل می شوند، هزینه نصب خطوط انتقال با استفاده از این لوله ها کاهش می یابد.

ث- سازه های عمرانی

ساخت ساختمان ها و سازه های مقاوم در برابر زلزله و عوامل محیطی موجب شده است به مواد مرکب در این صنایع توجه زیادی شود. به عنوان مثال پل ها با سازه فلزی پس از مدتی قابل استفاده نیستند و جایگزین کردن آنها هزینه بسیار زیادی دارد. مقاومت خوردگی مواد مرکب، وزن کم، سهولت نصب، و هزینه کم آنها در

مقایسه با زمان طولانی بهره برداری موجب شده است که از این مواد در ساخت پل ها استفاده زیادی شود. تا کنون برای ساخت قطعات پل ها از پلاستیک های تقویت شده با الیاف شیشه یا کربن استفاده شده است. برای افزایش ظرفیت تحمل بار ستون های ساختمان ها و افزایش مقاومت ساختمان در برابر زلزله، گاهی ستون ها از مواد مرکب با الیاف کربن یا الیاف آرامیدی و زمینه اپوکسی ساخته می شوند.

ج- قطعات صنعتی

از مواد مرکب به علت امکان طراحی آنها با توجه به شرایط کاری، برای ساخت قطعات صنعتی استفاده زیادی می شود. به عنوان مثال برای ساخت محورهای انتقال قدرت (shafts)، غلطک های دستگاه های چاپ، محور محرک در برج های خنک کاری، بوش های محورهای انتقال قدرت دوار، پمپ ها و پیستون ها به مواد مرکب توجه زیادی شده است. در برخی موارد از آنها برای ساخت بازوی ربات ها برای تأمین استحکام مناسب و مستهلک کردن ارتعاشات خارجی نیز استفاده می شود.

۴-۱ تقسیم بندی مواد مرکب

مواد مرکب رایج به چهار دسته تقسیم می شوند:

- ۱- مواد مرکب الیافی (fibrous composite materials)
- ۲- مواد مرکب لایه ای (laminated composite materials)
- ۳- مواد مرکب ذره ای (particulate composite materials)
- ۴- مواد مرکب با ساختار ترکیبی

۴-۱-۱ مواد مرکب الیافی

مواد مرکب الیافی مطابق با شکل (۳-۱) از ماده زمینه ای تشکیل شده است که توسط رشته هایی از الیاف تقویت می شوند. وظایف اصلی الیاف عبارتند از:

۱- تحمل نیروهای خارجی

۲- ایجاد مقاومت در برابر تغییر شکل

۳- ایجاد استحکام

۴- ایجاد پایداری ابعادی

وظایف زمینه مواد مرکب الیافی عبارتند از:

۱- انتقال و توزیع نیروی خارجی به الیاف

۲- حفظ آرایش هندسی الیاف

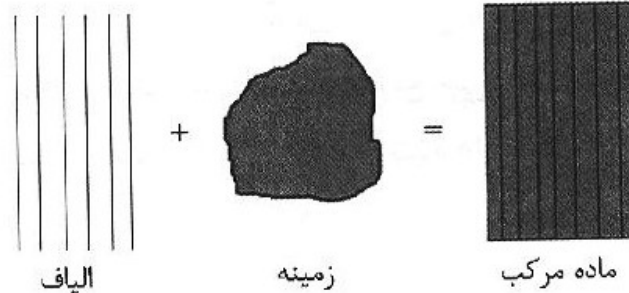
۳- محافظت از الیاف در برابر عوامل محیطی

۴- ایجاد پرداخت سطح مناسب محصول

۵- جلوگیری از کمانش الیاف

در ساخت رشته هایی با قطر کم (۱-۱۰ میکرومتر) و طول ۱۰-۱۰۰ برابر قطر آنها، ایجاد آرایش منظم اتمی در راستای محور آنها امکان پذیر است به طوری که با حذف عیوب بین کریستالی مانند نابجایی ها، استحکام در راستای رشته ها افزایش می یابد [۳]. این رشته ها را اصطلاحاً ویسکر (whisker) می نامند. ویسکرها در مواد مرکب الیافی به صورت نامنظم توزیع می شوند زیرا جهت دهی منظم آنها بسیار مشکل است. الیاف، رشته هایی هستند که برخلاف ویسکرها، طول آنها به اندازه کافی زیاد است به طوری که جهت دهی آنها در داخل مواد امکان پذیر است. بنابراین با جهت دهی الیاف، استحکام ماده را می توان در راستای مشخصی افزایش داد. با ایجاد آرایش منظمی از شبکه کریستالی در راستای محور الیاف در مقایسه با حجم مشخصی از ماده و حذف عیوب بین کریستالی، استحکام آنها افزایش داده می شود. برای مثال استحکام الیاف شیشه ۲۸۰۰ تا ۴۸۰۰ مگاپاسکال است در صورتی که ورق های شیشه استحکام شکست کمتر از ۲۰ مگاپاسکال دارند [۳]. بنابراین ترجیح داده می شود که از رشته های الیاف برای افزایش استحکام مواد مرکب استفاده شود.

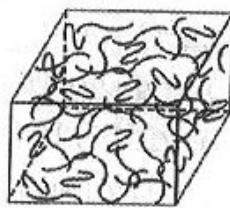
از آنجا که استفاده از الیاف با توجه به قطر کم بسیار مشکل است، تولیدکننده های الیاف دسته ای از آنها را در کنار یکدیگر قرار می دهند که اصطلاحاً به دسته ای از الیاف شیشه، روینگ (roving) و به دسته ای از الیاف کربن، تاو (tow) می گویند. گاهی این تولید کننده ها در دسته الیاف پیچش نیز ایجاد می کنند که آنها را الیاف تابیده شده (yarn) می نامند و معمولاً بر روی قرقره هایی پیچیده می شوند.



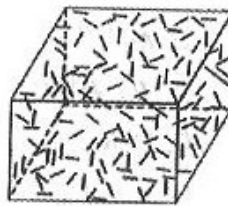
شکل (۳-۱) مواد مرکب الیافی

در صورتی که افزایش استحکام ماده مرکب در یک جهت مشخص مورد نظر باشد دسته الیاف به صورت تک جهتی در ماده زمینه قرار داده می شود و اگر افزایش استحکام یک لایه از ماده مرکب در جهت های مختلف مورد نظر باشد از الیاف با طول کوتاه یا الیاف بافته شده استفاده می شود.

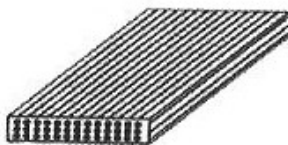
شکل (۴-۱) انواع مختلف مواد مرکب تقویت شده با الیاف را نشان می دهد که دارای الیاف با طول های مختلفی است.



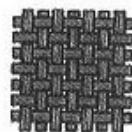
ماده مرکب با الیاف بلند



ماده مرکب با الیاف کوتاه



ماده مرکب با الیاف پیوسته تک جهتی

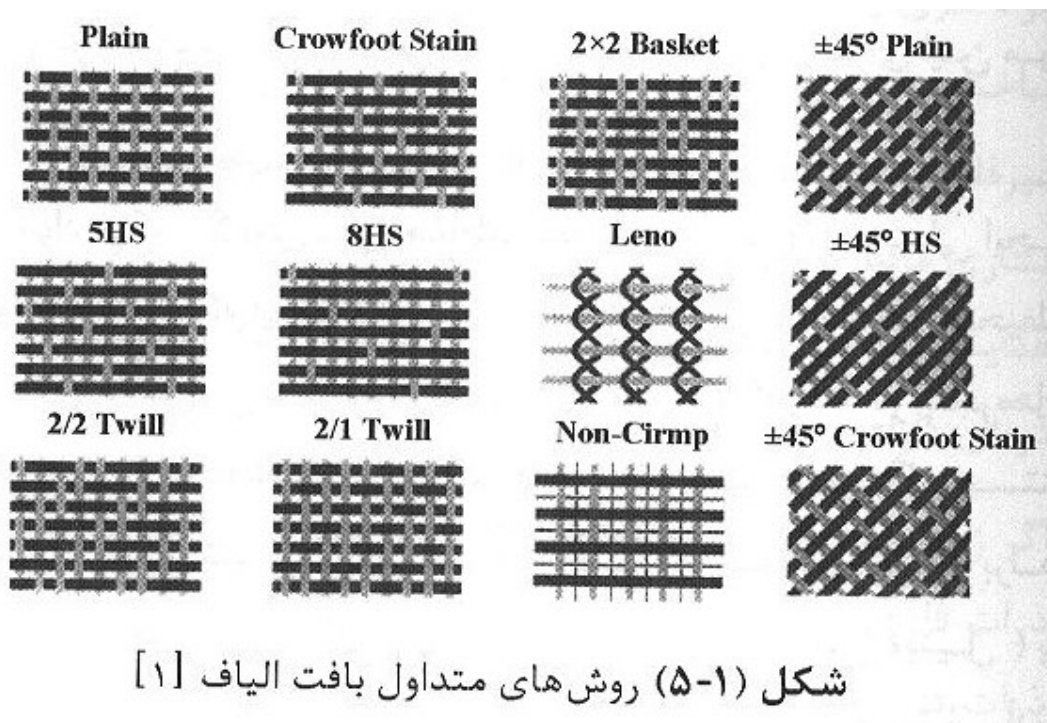


ماده مرکب با الیاف پیوسته بافته شده

شکل (۴-۱) انواع مختلف مواد مرکب الیافی براساس طول و هندسه الیاف

در الیاف بافته، مشابه با روش های بافت پارچه، با استفاده از دسته الیاف به صورت تار و پود، پارچه های بافته شده ای از الیاف ساخته می شود. شکل (۵-۱) نمونه ای از روش های متداول بافت را نشان می دهد. از آنجا که کلیه الیاف بافته شده در داخل یک صفحه قرار نمی گیرند عملکرد الیاف در تقویت ورق کاهش می یابد؛ به ویژه اینکه این الیاف بافته شده بر اثر نیروهای فشاری تمایل دارند از ورق خارج شوند. برای حذف این عیب، پارچه های مسطحی از کنار هم قرار دادن دسته های الیاف ساخته می شود و با استفاده از رشته های باریکی (stitching strings) از مواد گرمانرم یا الیاف شیشه بهم بافته می شوند.

ماده زمینه مورد استفاده در مواد مرکب الیافی می تواند از جنس مواد پلیمری، فلزی یا سرامیکی باشد که اصطلاحاً به آنها مواد مرکب پلیمری (Polymer Matrix Composites (PMC))، مواد مرکب سرامیکی (Metal Matrix Composites (MMC)) گفته می شود. معمولاً، این مواد در مقایسه با رشته های الیاف، جرم حجمی، استحکام و مقاومت کمتری دارند.

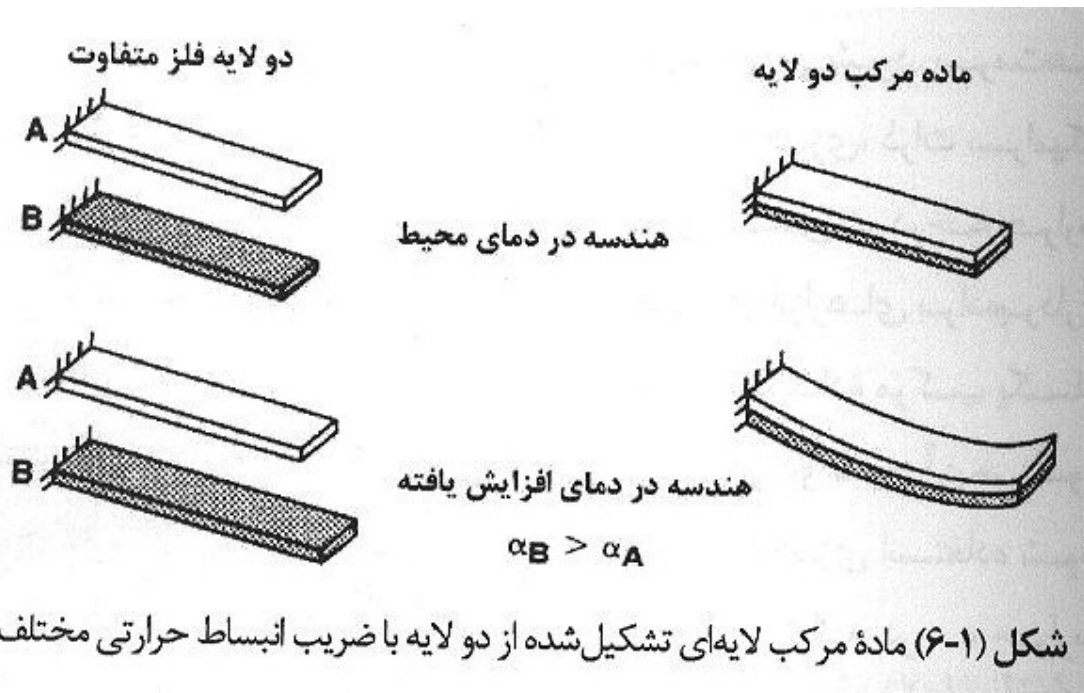


شکل (۵-۱) روش های متداول بافت الیاف [۱]

۱-۴-۲ مواد مرکب لایه ای

این نوع مواد مرکب حداقل از دو لایه مواد مختلف تشکیل شده اند که به یکدیگر متصل می شوند تا ماده حاصل خواص مناسبی در مقایسه با لایه های مجزا داشته باشد. برای مثال اتصال دو لایه فلزی با ضریب انبساط حرارتی مختلف را مطابق با شکل (۶-۱) در نظر بگیرید که بر اثر اختلاف درجه حرارت و در نتیجه تغییر طول مختلف این دو لایه، تغییر شکلی در ماده مرکب ایجاد می شود. از این ماده مرکب لایه ای برای اندازه گیری درجه حرارت استفاده می شود. هدف از ایجاد مواد مرکب لایه ای، بهبود برخی از خواص ماده مانند افزایش استحکام، مقاومت به تغییر شکل، کاهش وزن، بهبود مقاومت خوردگی، افزایش مقاومت به سایش، تغییر خواص حرارتی و ایجاد پرداخت سطح مناسب است. در ساخت مواد مرکب لایه ای می توان از لایه های استفاده کرد که به صورت مواد مرکب الیافی هستند. در این صورت متغیرهای بیشتری در طراحی این نوع مواد وجود دارد و خواص بسیار متنوعی می توان برای این مواد ایجاد کرد.

گاهی مواد مرکب لایه ای برای حفاظت مواد در برابر عوامل محیطی ایجاد می شوند؛ به طوری که ایجاد لایه خارجی مقاوم، مانع از تأثیر عوامل محیطی بر لایه های داخلی می شود. اگر ورق های شیشه ای، به کار رفته در پنجره های خودرو، بدون لایه محافظ خارجی استفاده شوند بسیار خطرناک هستند زیرا بسیار ترد هستند و بر اثر ضربه به صورت تکه های تیز و برنده می شکنند. در صورتی که ایجاد لایه پلاستیکی (بوتیرال پلی وینیل (Polyvinyl butyral)) با انعطاف پذیری بالا [۳]، از شکستن شیشه به خرده های ریز و پرتاب آنها جلوگیری می کند.



شکل (۶-۱) ماده مرکب لایه‌ای تشکیل شده از دو لایه با ضریب انبساط حرارتی مختلف

۱-۴-۳ مواد مرکب ذره ای

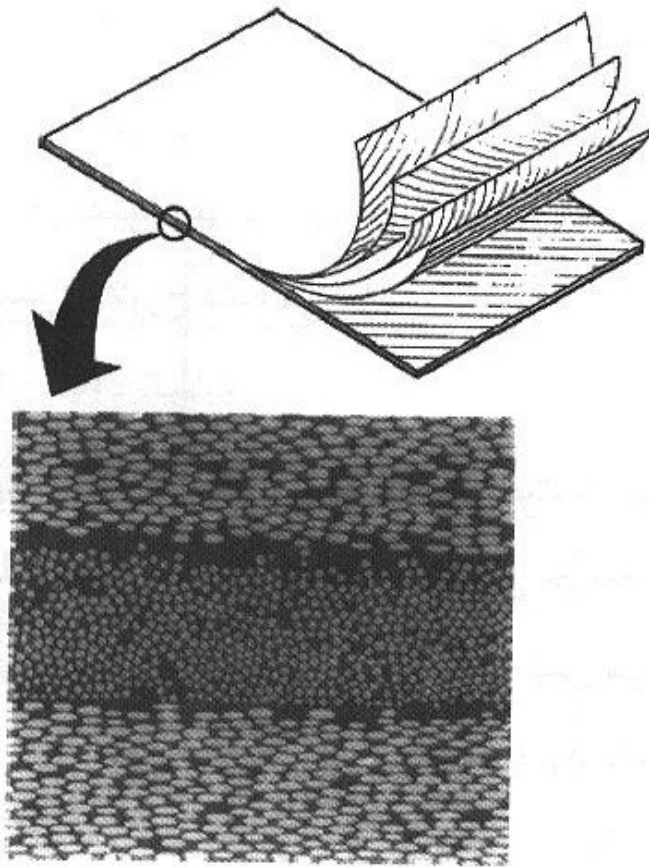
گاهی برای بهبود خواص مواد، یک یا چند نوع از ذرات مواد دیگر را در زمینه ای با جنس متفاوت اضافه می کنند. ذرات و زمینه ممکن است از مواد فلزی یا غیر فلزی باشند. اضافه کردن ذرات شن در سیمان برای ساخت بتون های مورد استفاده در ساختمان ها، نمونه ای از ماده غیرفلزی تقویت شده با ذرات غیر فلزی است که موجب افزایش استحکام فشاری ماده مرکب می شود. رنگ های دارای ذرات فلز نقره برای افزایش هدایت الکتریکی سطحی مواد استفاده می شود که نوعی ماده مرکب ذره ای دارای ذرات فلزی و زمینه غیرفلزی است. اگر زمینه و ذرات تقویت کننده فلزی باشند، برخلاف آلیاژهای فلزی، ذرات فلزی مواد مرکب در یکدیگر حل نمی شوند. برای مثال حضور ذرات فلزی نامحلول سرب در فلزاتی مانند مس یا فولاد موجب بهبود قابلیت ماشین کاری آنها می شود. همچنین ذرات سرب نامحلول در آلیاژهای مسی، ضریب اصطکاک را کاهش می دهد.

گاهی از ذرات غیرفلزی در زمینه فلزی استفاده می شود. سرامت ها (cermets)، نمونه ای از مواد مرکب ذره ای هستند که در زمینه فلزی، ذرات سرامیکی توزیع شده است. این ذرات موجب افزایش پایداری ابعادی در

درجه حرارت بالا و سختی ماده می شود به طوری که از این مواد در ابزارهای براده برداری استفاده می شود. گاهی توزیع ذرات در جهت ضخامت ماده مرکب یکسان نیست و موجب ساخت قطعه ای با خواص مختلف در دو سطح آن می شود. برای مثال، اگر از ذرات سرامیکی برای تقویت ماده فلزی استفاده شود، سطحی که درصد بیشتری از ماده سرامیک دارد، می تواند درجه حرارت بیشتری تحمل کند و در سطحی که درصد ذرات کم می شود انعطاف پذیری ماده افزایش می یابد.

۱-۴-۴ مواد مرکب با ساختار ترکیبی

گاهی از ترکیب دو یا سه نوع مواد مرکب که تا کنون توضیح داده شده است، برای ساخت یک ماده مرکب استفاده می شود که در این صورت متغیرهای زیادی در طراحی ماده مرکب برای کاربرد خاص وجود دارد. برای مثال، مواد بتونی دارای ذرات شن را با میله های فولادی تقویت می کنند تا علاوه بر استحکام بالای فشاری مواد بتونی، استحکام کششی ماده مرکب نیز افزایش یابد. در ساخت مواد مرکب چند لایه نشان داده شده در شکل (۷-۱)، هریک از لایه ها می تواند از مواد مرکب الیافی ساخته شود که در این صورت علاوه بر نوع مواد تشکیل دهنده، راستای الیاف و درصد حجمی الیاف هر لایه نسبت به لایه های مجاور می تواند تغییر کند تا خواص مورد نظر در جهت های مختلف ایجاد شود.



شکل (۷-۱) ماده مرکب
چندلایه ای تقویت شده با
الیاف پیوسته

۱-۵ خواص اجزای تشکیل دهنده مواد مرکب الیافی

همانطور که در تعریف مواد مرکب الیافی بیان شد، این مواد از دو ماده مختلف الیاف و زمینه تشکیل می شوند. به مواد مرکب الیافی، با زمینه پلیمری، در صنایع مختلف توجه زیادی می شود زیرا پلیمرهای با خواص بسیار متنوع وجود دارند و معمولاً هزینه تولید آنها در مقایسه با مواد دیگر کمتر است. در این بخش به الیاف مناسب برای تقویت مواد مرکب و مواد پلیمری رایج برای ساخت مواد مرکب اشاره می شود.

۱-۵-۱ تقویت کننده های مواد مرکب الیافی

معمولاً در مواد مرکب پلیمری از الیاف جنس شیشه، کربن یا پلیمر برای بهبود خواص مهندسی استفاده می شود. در ادامه خواص مواد نامبرده شرح داده می شود.

۱- الیاف شیشه

این الیاف با عبور شیشه مذاب تحت اثر نیروی ثقل از داخل سوراخ های قالب و سرد کردن سریع رشته های خروجی تولید می شوند. قطر الیاف با توجه به اندازه قطر سوراخ قالب تعیین می شود. پس از ساخت الیاف بر روی سطوح آن پوششی ایجاد می شود تا در شرایط مناسبی برای اتصال الیاف با ماده زمینه در جهت ساخت مواد مرکب فراهم شود. سه نوع الیاف شیشه با توجه به کاربرد آنه وجود دارد که خواص آنها در جدول (۱-۲) آورده شده است.

نوع C: برای استفاده در شرایطی که به مقاومت خوردگی بالا نیاز است.

نوع E: برای استفاده در شرایطی که مقاومت بالا در برابر رطوبت نیاز است.

نوع S: برای استفاده در شرایطی که استحکام و مدول الاستیسیته بالا نیاز است.

انعطاف پذیری و استحکام کششی بالا، مقاومت بالا در برابر خوردگی و مقاومت خستگی بسیار بالای الیاف شیشه موجب شده است الیاف شیشه در بسیاری از سازه های مواد مرکب کاربرد وسیعی داشته باشند.

جدول (۲-۱) خواص انواع مختلف الیاف شیشه [۴]

الیاف شیشه نوع (S)	الیاف شیشه نوع (C)	الیاف شیشه نوع (E)	خواص
۱۰	-	۸-۱۴	قطر الیاف (μm)
۲۴۹۰	۲۴۹۰	۲۵۴۰	جرم حجمی (Kg/m^3)
۸۵/۵	۶۸/۹	۷۲/۴	مدول کششی (GPa)
۴۵۹۰	۳۱۶۰	۳۴۵۰	استحکام کششی (MPa)
۵/۷	۴/۸	۱/۸-۳/۲	افزایش طول قبل از شکست (%)
۵/۶	۷/۲	۵/۰	ضریب انبساط حرارتی طولی ($\times 10^{-6}/\text{C}$)
-	-	۱/۳	ضریب رسانایی حرارتی ($\text{W/m}^2/\text{C}$)
۸۴۰	۷۸۰	۸۴۰	ظرفیت گرمایی ویژه ($\text{J/Kg}/\text{C}$)

۲- الیاف کربن

این الیاف با توجه به مدول کشسانی و استحکام بالا، ایجاد پایداری ابعادی مناسب و جرم کم آنها در مقایسه با الیاف شیشه، در سازه های مختلف به ویژه سازه های هوافضا استفاده می شود. الیاف کربن با اکسید کردن رشته های پلیمری در درجه حرارت بالا و سپس کربن دهی آنها تولید می شوند. از آنجا که قیمت الیاف کربن از الیاف شیشه بیشتر است در مواقعی که استفاده از الیاف شیشه برای تقویت مواد پلیمری مناسب نباشد و نیاز به استحکام بیشتر و جرم حجمی کمتری باشد از الیاف کربن استفاده می شود. الیاف کربن با توجه به مدول کششی آنها به سه دسته کلی الیاف مدول متوسط، مدول بالا و مدول فوق العاده بالا تقسیم می شوند که خواص آنها در جدول (۱-۳) آورده شده است.

جدول (۳-۱) خواص انواع مختلف الیاف کربن [۴]

خواص	مدول متوسط (IM) ¹	مدول بالا (HM) ²	مدول فوق العاده بالا (UHM) ³
قطر الیاف (μm)	۸-۹	۷-۱۰	۷-۱۰
جرم حجمی (Kg/m ³)	۱۷۸۰-۱۸۲۰	۱۶۷۰-۱۹۰۰	۱۸۶۰
مدول کششی (GPa)	۲۲۸-۲۷۶	۳۳۱-۴۰۰	۵۱۷
استحکام کششی (MPa)	۲۴۱۰-۲۹۳۰	۲۰۷۰-۲۹۰۰	۱۷۲۰
افزایش طول قبل از شکست (%)	۱/۰	۰/۵	۰/۳-۰/۴
ضریب انبساط حرارتی طولی (×10 ⁻⁶ /°C)	۰/۱۱ تا ۰/۱۵	۰/۱۵ تا ۱/۲	۱/۰
ضریب انبساط حرارتی عرضی (×10 ⁻⁶ /°C)	۷-۱۲	۷-۱۲	-
ضریب رسانایی حرارتی (W/m/°C)	۲۰	۷۰-۱۰۵	۱۴۰
ظرفیت گرمایی ویژه (J/Kg/°C)	۹۵۰	۹۲۵	-

۳- الیاف پلیمری

برای تولید این الیاف، ماده اولیه ذوب شده از داخل قالبی برای ایجاد الیافی با قطر مورد نظر عبور داده می شود و پس از خروج از قالب، مواد سرد می شوند. از آنجا که مواد پلیمری از زنجیره های مولکولی تشکیل شده اند، زنجیره های مولکولی در حین عبور این مواد از داخل قالب جهت داده می شود که موجب بهبود قابل توجه خواص در راستای الیاف پلیمری می شود. مهم ترین الیاف پلیمری کولار است که در مقایسه با الیاف دیگر، بیشترین نسبت استحکام کششی به جرم حجمی را دارد و مقاومت بالا در برابر ضربه و ضریب انبساط حرارتی منفی از ویژگی های دیگر آن است. از جمله عیب هایی که الیاف پلیمری کولار دارد؛ دمای کاری پایین (حدود ۱۰۰ درجه سانتی گراد)، و برش کاری و ماشین کاری مشکل آنهاست و برخلاف خواص مکانیکی آنها در برابر نیروهای کششی، خواص مکانیکی فشاری ضعیفی دارد. این الیاف ارزان تر از الیاف کربن و گران تر از الیاف شیشه هستند. در جدول (۱-۴) خواص دو نوع الیاف کولار رایج آورده شده است.

جدول (۱-۴) خواص الیاف پلیمری [۴]

خواص	کولار-۲۹	کولار-۴۹
قطر الیاف (μm)	۱۲	۱۲
جرم حجمی (Kg/m^3)	۱۴۷۹	۹۷۰
مدول کششی (GPa)	۶۲	۱۳۱
استحکام کششی (MPa)	۲۷۶۰	۳۷۹۲-۲۸۰۰
افزایش طول قبل از شکست (%)	۳-۴	۲/۲-۲/۸
ضریب انبساط حرارتی طولی ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	-۲	-۲
ضریب انبساط حرارتی عرضی ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	۵۹	۵۹
ضریب رسانایی حرارتی ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	-	۰/۰۴-۰/۵

۱-۵-۲ زمینه پلیمری مواد مرکب الیافی

مواد پلیمری مورد استفاده در زمینه مواد مرکب را اصطلاحاً رزین گویند. زنجیره های مولکولی مواد پلیمری از ترکیب شیمیایی اجزای اولیه مواد پلیمری، تحت عنوان مونومرها (monomers)، ایجاد می شوند. با توجه به ترکیب شیمیایی مونومرها و نحوه اتصال آنها برای ایجاد زنجیره مولکولی، خواص بسیار متنوعی برای مواد پلیمری وجود دارد. برای تعیین نوع ماده پلیمری در مواد مرکب نیاز است درجه حرارت کاری آنها از دمای گذر از حالت شیشه ای (درجه حرارتی که رفتار شیشه به مواد شیشه ای در پلیمرها به رفتار شیشه مواد پلاستیکی تبدیل می شود، اصطلاحاً دمای گذر از حالت شیشه ای می نامند و برای درجه حرارت بالاتر از آن، مدول کشسان در اکثر پلیمرها به شدت کاهش می یابد و تغییر شکل پلاستیک به راحتی ایجاد می شود [۵]). بیشتر نباشد زیرا در اکثر مواد پلیمری استحکام در دمای بالاتر از آن کاهش می یابد. از طرف دیگر، برخی از مواد

پلیمری رطوبت محیط را جذب می کنند که موجب افزایش ابعاد ماده و گاهی کاهش استحکام می شود.

بنابراین در تعیین زمینه مواد مرکب پلیمری نیاز است شرایط محیطی در نظر گرفته شود.

مواد پلیمری به دو دسته مواد گرماسخت (thermoset materials) و مواد گرما نرم (thermoplastic

materials) تقسیم می شوند که در ادامه خواص هر یک از این دو دسته توضیح داده می شود.

۱-۲-۵-۱ مواد گرماسخت

در این مواد پس از حرارت دهی و اجرای عملیات پخت، پیوند شیمیایی برگشت ناپذیری ایجاد می شود به

طوری که این مواد با حرارت دهی مجدد ذوب نمی شوند. به علت ایجاد پیوند عرضی کووالانس بین زنجیره

های مولکولی، این مواد انعطاف پذیری زیادی ندارند و به صورت مواد ترد رفتار می کنند. مواد اولیه

گرماسخت به صورت دو یا چند جزء در حالت مایع هستند که باید با درصد مشخصی در یکدیگر حل شوند تا

قطعه مورد نظر ساخته شود. پس از قالب گیری، عملیات پخت انجام می شود. مواد اولیه پلیمرهای گرماسخت در

شرایط محیطی خاصی باید نگهداری شوند زیرا طول عمر محدودی دارند. خصوصیات مهم مواد گرماسخت

عبارتند از:

مقاومت بالا در برابر مواد شیمیایی و خورنده

صلبیت بالا و پایداری ابعادی مناسب

ویسکوزیته کم مواد اولیه و آغشته سازی آسان الیاف به این مواد

قیمت کم در مقایسه با مواد گرمانرم

دمای کم اجرای عملیات پخت مواد حساسیت بالا به ترک در مقایسه با مواد گرمانرم

خواص برخی از مواد گرماسخت، که بیشترین استفاده را در ساخت مواد مرکب دارند، در جدول (۱-۵) آورده

شده است و در ادامه شرح مختصری از این مواد ارائه می شود.

الف- اپوکسی

خواص بسیار متنوع رزین اپوکسی موجب شده است که استفاده زیادی از آن برای ساخت مواد مرکب شود. در مواد اپوکسی برای ایجاد واکنش شیمیایی و اجرای عملیات پخت نیاز به ماده تحریک کننده ای است که اصطلاحاً آن را سخت کننده (hardner) می نامند. محلول اپوکسی و سخت کننده در داخل قالب ریخته می شود تا با اعمال چرخه حرارت دهی، واکنش بین زنجیره های مولکولی برقرار شود و قطعه نهایی تولید شود. معمولاً عملیات پخت کند است و چندین ساعت طول می کشد. درصد و نوع سخت کننده بر زمان پخت و خواص محصول نهایی اثر دارد. ماده اپوکسی اتصال خوبی با الیاف از جنس های مختلف برقرار می کند. انواع مختلف اپوکسی با خواص متفاوتی وجود دارند که با توجه به کاربرد مورد نظر برای مواد مرکب انتخاب می شود.

جدول (۱-۵) خواص برخی از مواد گرماسخت مورد استفاده در زمینه مواد مرکب [۱، ۳ و ۴]

خواص	اپوکسی	پلی ایمید	بیسمال ایمید	سیانیت استر	فنولیک
جرم حجمی ($\times 10^3 \text{Kg/m}^3$)	۱/۱-۱/۴	۱/۴-۱/۹	۱/۳	۱/۱۷	۰/۷
مدول کششی (GPa)	۲-۶	۳/۱-۴/۹	۳/۶	-	۱۰-۱۳
استحکام کششی (MPa)	۲۵-۱۳۰	۷۰-۱۲۰	۴۸-۷۸	-	۶۰
ضریب انبساط حرارتی ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)	۱-۸/۵	۱/۵-۳	۱-۶/۶	-	۵۲
درجه حرارت تبدیل شیشه ای ($^\circ\text{C}$)	۵۰-۲۵۰	۲۸۰-۳۲۰	۲۵۰-۳۰۰	-	-
حداکثر درجه حرارت استفاده دائم ($^\circ\text{C}$)	۸۰-۲۱۵	-	۲۳۰-۳۲۰	۱۵۰-۲۵۰	۷۰-۱۵۰
انقباض در حین پخت (%)	۱-۵	-	-	-	۰/۴-۰/۶
جذب رطوبت [۲۴h در 20°C] (%)	۰/۱-۰/۴	۰/۳	-	-	۰/۲-۰/۳

ب- پلی ایمید و بیسمال ایمید (bisamaleimide)

در شرایطی که دمای کاری بالایی نیاز باشد از این نوع مواد گرماسخت استفاده می شود. مشکل استفاده از این نوع رزین، رطوبت و گازهایی است که در حین عملیات پخت این ماده ایجاد می شود و برای جلوگیری از ایجاد عیوبی مانند حفره های گازی و جدایی بین لایه ای نیاز است هوای اطراف تخلیه شود. چقرمگی کم در مقایسه با اپوکسی و جذب رطوبت بالا از عیوب این مواد است.

پ- سیانیت استر (cyanate ester)

این ماده مشابه با پلی ایمیدها برای استفاده در درجه حرارت بالا مناسب است و بر خلاف پلی ایمیدها چقرمگی بالا و جذب رطوبت کمی دارد. سیانیت استر برای ایجاد قطعات به راحتی واکنش می دهد و حتی نسبت به مواد اپوکسی، پخت آنها آسان تر است. خواص مناسب این نوع از ماده گرماسخت موجب شده است که در سازه های هوافضا استفاده زیادی شود.

ت- فنولیک (Phenolic)

این ماده به دلیل مقاومت در برابر شعله و سازگاری با الزامات مقررات بین المللی هواپیماها موجب شده است که در سطح داخلی هواپیما استفاده شود. خواص مهم دیگر این مواد، مقاومت در برابر درجه حرارت بالا، پایداری ابعادی، مقاومت در برابر سایش، و مواد شیمیایی است. در هنگام واکنش شیمیایی این ماده، مولکول آب تولید می شود. بنابراین نیاز است در حین اجرای فرآیند پخت، شرایط لازم برای تخلیه مولکول های آب پیش بینی شود تا در قطعه حاصل عیوبی ایجاد نشود.