

فصل نهم

روش های صنعتی تولید

مواد پلیمری

فهرست:

۸-۱: اکستروژن

۸-۲: قالب گیری تزریقی

۸-۳: قالب گیری بادی

۸-۴: قالب گیری چرخشی

۸-۵: ترموفرمینگ

۸-۱: اکستروژن

اکستروژن (Extrusion) یکی از رایج‌ترین روش‌های صنعتی برای تولید محصولات پلیمری است که در آن مواد پلیمری ذوب شده از یک قالب یا دای (die) عبور داده می‌شوند تا به فرم یا شکل مورد نظر درآیند. این فرآیند می‌تواند برای تولید انواع محصولات پلیمری به کار رود، از جمله فیلم‌ها، لوله‌ها، پروفیل‌ها، ورق‌ها، و بسیاری دیگر از محصولات. در اکستروژن، مواد پلیمری (مانند گرانول‌ها یا پودرهای پلیمر) به یک دستگاه اکسترودر تغذیه می‌شوند و سپس تحت فشار و دماهای بالا ذوب شده و به شکل دلخواه درمی‌آیند. فرآیند اکستروژن به‌طور کلی از مراحل زیر تشکیل شده است:

۱. تغذیه (Feeding): مواد اولیه پلیمر (که به‌صورت گرانول، پودر یا دانه است) به دستگاه اکسترودر وارد می‌شوند. این مواد معمولاً از ترکیب پلیمرهای مختلف با افزودنی‌ها (مانند پایدارکننده‌ها، رنگ‌ها، روان‌کننده‌ها، و تقویت‌کننده‌ها) تشکیل می‌شوند.

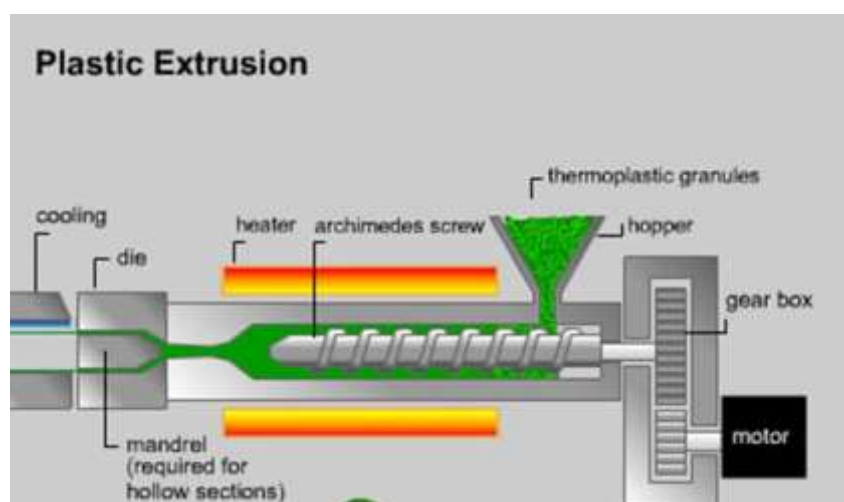
۲. ذوب شدن (Melting): پس از ورود مواد به دستگاه اکسترودر، آن‌ها در یک سیلندر تحت فشار قرار می‌گیرند. در این قسمت، دما و فشار بالا باعث ذوب شدن پلیمر می‌شود. این مرحله معمولاً توسط یک سیستم گرم‌کن داخلی یا خارجی انجام می‌شود که باعث می‌شود مواد به‌صورت مایع یا نیمه‌مایع (گرانولی) درآیند.

۳. فشردن و مخلوط کردن (Compounding and Mixing): در این مرحله، مواد پلیمری به‌طور یکنواخت مخلوط می‌شوند تا مواد افزودنی به‌طور کامل در داخل پلیمر توزیع شوند. معمولاً این فرآیند در محفظه‌های چرخشی (روتور) یا پیچ‌های دوگانه انجام می‌شود تا ترکیب یکنواختی حاصل شود.

۴. عبور از دای (Die): پس از اینکه مواد به حالت مذاب درآمده‌اند، از طریق یک دای که به شکل‌های مختلف (پروفیل‌های دایره‌ای، مستطیلی یا حتی اشکال پیچیده‌تر) طراحی شده است، عبور داده می‌شوند. در این مرحله، مواد به شکل نهایی (مانند لوله، فیلم، یا پروفیل) در می‌آیند. دای نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی به محصولات نهایی دارد.

۵. سرما دادن و شکل‌دهی (Cooling and Solidification): پس از عبور از دای، محصول پلیمری معمولاً از طریق یک سیستم خنک‌کننده (مانند آب یا هوا) سرد می‌شود تا به حالت جامد تبدیل شود. این فرآیند به‌گونه‌ای طراحی شده است که شکل محصول نهایی حفظ شود و از تغییر شکل جلوگیری شود.

۶. برش یا شکل‌دهی نهایی (Cutting or Final Shaping): پس از سرد شدن و سفت شدن محصول، مواد ممکن است به اندازه‌های خاصی بریده شوند یا از طریق فرآیندهای تکمیلی مانند کشش، فشردن یا دیگر عملیات شکل‌دهی، ویژگی‌های نهایی‌شان به‌دست آید.



۸-۱-۱: کاربردهای اکستروژن در صنعت پلیمر

اکستروژن در تولید بسیاری از محصولات پلیمری مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از کاربردهای رایج این فرآیند عبارتند از:

۱. تولید لوله‌ها و پروفیل‌ها: یکی از کاربردهای اصلی اکستروژن، تولید لوله‌ها، پروفیل‌ها و اشکال ثابت است. این محصولات در صنایع مختلف از جمله ساختمانی (برای تولید پنجره‌ها و درها)، کشاورزی (لوله‌های آبیاری) و خودروسازی (قطعات پلاستیکی) به‌کار می‌روند.

۲. فیلم‌ها و ورق‌ها: در صنایع بسته‌بندی، تولید فیلم‌های پلاستیکی (مانند پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن) برای بسته‌بندی محصولات غذایی، دارویی و سایر کالاها از فرآیند اکستروژن استفاده می‌شود. این فیلم‌ها می‌توانند با خواص خاصی مانند قابلیت کشسانی بالا یا مقاومت در برابر رطوبت تولید شوند.
۳. تولید فیبر و نخ‌های مصنوعی: اکستروژن برای تولید الیاف و نخ‌های مصنوعی مانند نایلون، پلی‌استر و پلی‌پروپیلن به کار می‌رود. این فیبرها در تولید پارچه‌ها، پوشاک و سایر مواد نساجی کاربرد دارند.
۴. مواد ساخت قطعات خودرو: بسیاری از قطعات پلاستیکی خودرو (مانند پوشش‌های داخلی، قسمت‌های خارجی و قطعات تزئینی) از طریق اکستروژن تولید می‌شوند.
۵. پلاستیک‌های تقویت‌شده با الیاف: در فرآیند اکستروژن می‌توان از الیاف تقویت‌کننده مانند فیبر شیشه یا کربن استفاده کرد تا پلیمرهای مهندسی با استحکام بالا تولید شوند.

۸-۱-۲: مزایای اکستروژن

- سرعت بالا: اکستروژن یک فرآیند پیوسته است و می‌تواند در مقیاس‌های وسیع به‌طور مداوم تولید کند.
- انعطاف‌پذیری: این فرآیند به راحتی می‌تواند برای تولید انواع مختلفی از محصولات در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف استفاده شود.
- هزینه پایین: اکستروژن نسبت به بسیاری از روش‌های دیگر تولید پلیمر مانند تزریق یا ریخته‌گری، هزینه کمتری دارد.
- کیفیت بالا: اکستروژن معمولاً محصولاتی با کیفیت یکنواخت و دقیق تولید می‌کند.
- امکان افزودن افزودنی‌ها: در این روش می‌توان مواد افزودنی (مانند رنگ‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و تقویت‌کننده‌ها) را به راحتی به پلیمر اضافه کرد.

۸-۱-۳: معایب اکستروژن

- محدودیت در تولید اشکال پیچیده: هرچند که اکستروژن برای تولید اشکال ساده مانند لوله و پروفیل مناسب است، برای تولید اشکال پیچیده‌تر نیاز به فرآیندهای تکمیلی مانند برش یا شکل‌دهی اضافی است.
- محدودیت در انتخاب مواد: برخی از مواد پلیمری برای فرآیند اکستروژن مناسب نیستند یا نیاز به تغییرات خاصی در فرآیند دارند.
- هزینه بالای تجهیزات اولیه: هرچند که هزینه عملیاتی اکستروژن پایین است، اما دستگاه‌های اکستروژن اولیه می‌توانند هزینه‌بر باشند.

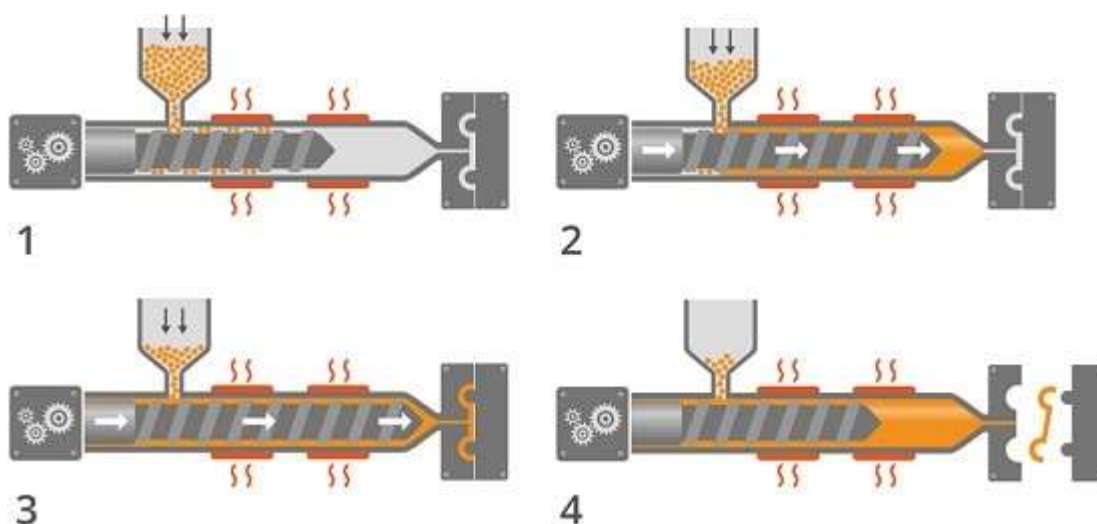
۸-۲: قالب‌گیری تزریقی

روش قالب‌گیری تزریقی (Injection Molding) یکی از رایج‌ترین و مؤثرترین روش‌های تولید قطعات پلاستیکی است که در صنعت‌های مختلفی مانند خودروسازی، الکترونیک، بسته‌بندی و پزشکی استفاده می‌شود. در این روش، مواد پلیمری به صورت ذوب شده به داخل یک قالب تزریق می‌شوند تا شکل مورد نظر تولید شود. مدت زمان فرآیند قالب‌گیری تزریقی وابسته به نوع محصولی که قرار است تولید کنید، بین ۳۰ تا ۹۰ ثانیه است. این مکانیزم چهار مرحله دارد:

۱. ابتدا گرانول (Granules) پلیمری به همراه مواد افزودنی رنگی و تقویت کننده توسط قیف درون دستگاه تزریق ریخته می‌شوند و واحد تزریق، مواد را وارد محفظه اصلی دستگاه می‌کند.
۲. دستگاه تزریق یک محفظه اصلی فلزی دارد؛ مواد وارد شده به این محفظه حرارت می‌بینند و با هم ترکیب می‌شوند. در محفظه دستگاه یک پیچ وجود دارد که با چرخش این پیچ مواد پلاستیکی داخل محفظه به سمت قالب هدایت می‌شوند. در این مسیر گرمای هیت‌ری که در اطراف محفظه قرار دارد، پلاستیک را گرم و ذوب می‌کند.

۳. قالب قبل از تزریق ماده مذاب پلاستیکی باید کمی گرم باشد تا وقتی ماده مذاب تزریق شد، قبل از پر شدن کامل قالب، سفت نشود. بعد از این که مذاب قالب را پر کرد سیستم خنک کننده فعال می شود، ماده مذاب شکل قالب را به خود می گیرد و جامد می شود. تا وقتی که زمان مورد نیاز برای خنک شدن قطعه نگذشته باشد، قالب بسته می ماند.

۴. در مرحله آخر بعد از گذشتن زمان خنک شدن، قطعه با استفاده از پین های موجود در قالب از قالب جدا می شود.



معمولا محصولات ساخته شده با فرآیند قالب گیری تزریقی، به محض تولید آماده استفاده هستند و نیازی به پرداخت و پساتولید آن ها نیست.

۸-۲-۱: مزایای روش قالب گیری تزریقی

از این روش قالب گیری برای ساخت انواع قطعات پلاستیکی استفاده می شود، از جمله قطعات خودرو، لوازم خانگی، اسباب بازی و محصولات الکترونیکی. مزیتی که روش قالب گیری تزریقی نسبت به دیگر روش ها دارد، شامل موارد زیر است:

- تولید سریع و اقتصادی: برای تولید قطعات در حجم بالا، این روش مقرون به صرفه و سریع است.

- دقت بالا: این فرآیند دقت و کیفیت بسیار بالایی در تولید قطعات ایجاد می‌کند.
- امکان استفاده از مواد اولیه متنوع: می‌توان از انواع مواد پلیمری مانند پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌کربنات و... استفاده کرد.
- قابلیت تولید قطعات متنوع و پیچیده: قالب‌گیری تزریقی می‌تواند انواع مختلف اشکال پیچیده و دقیق را تولید کند.

۸-۲-۲: معایب روش قالب‌گیری تزریقی

این روش دارای معایب زیر می‌باشد:

- هزینه قالب سازی بالا: طراحی و ساخت قالب‌های تزریقی زمان بر و هزینه‌بر است که همین موضوع هزینه اولیه راه اندازی خط تولید با روش قالب‌گیری تزریقی را افزایش می‌دهد. همچنین اگر قالب نیاز به اصلاح طرح داشته باشد هزینه بسیار زیادی برای ساخت مجدد یا اصلاح قالب باید پرداخت.
- محدودیت در اندازه قطعات: این روش برای تولید قطعات با ابعاد بسیار بزرگ مناسب نیست.

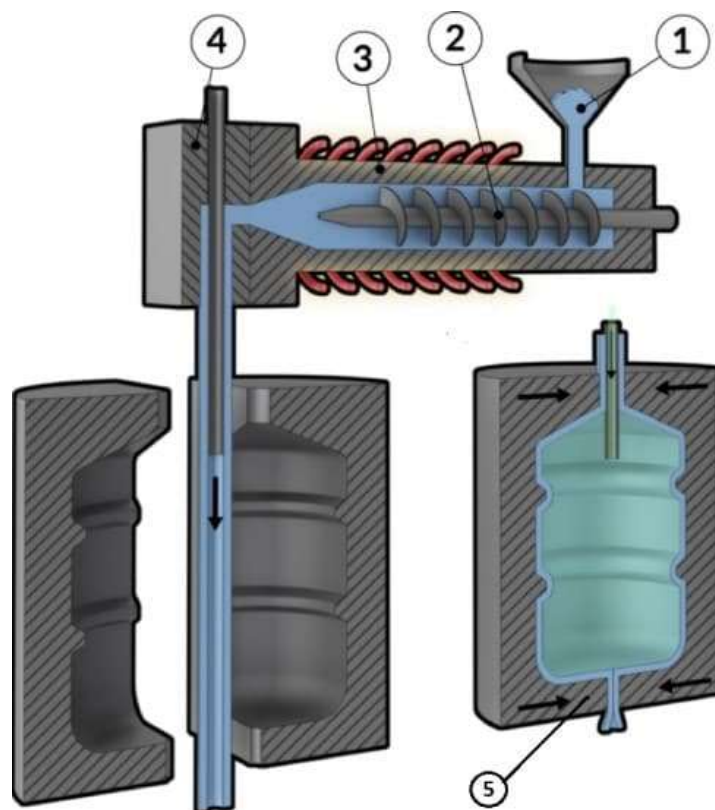
۸-۳: قالب‌گیری بادی

روش قالب‌گیری بادی (Blow Molding) یکی دیگر از روش‌های رایج برای تولید قطعات پلاستیکی است که به ویژه برای تولید قطعات توخالی یا با دیواره نازک مانند بطری‌ها، ظروف پلاستیکی و بعضی از قطعات خودرو استفاده می‌شود. این فرآیند مشابه روش قالب‌گیری تزریقی است، اما تفاوت اصلی در نحوه شکل‌دهی قطعه و نحوه استفاده از فشار هوا به جای فشار مکانیکی است. به طور کلی سه روش برای قالب‌گیری بادی وجود دارد که در ادامه هر یک بطور مجزا توضیح داده می‌شود.

روش اول: قالب‌گیری بادی اکستروژن: مراحل این روش به ترتیب زیر است:

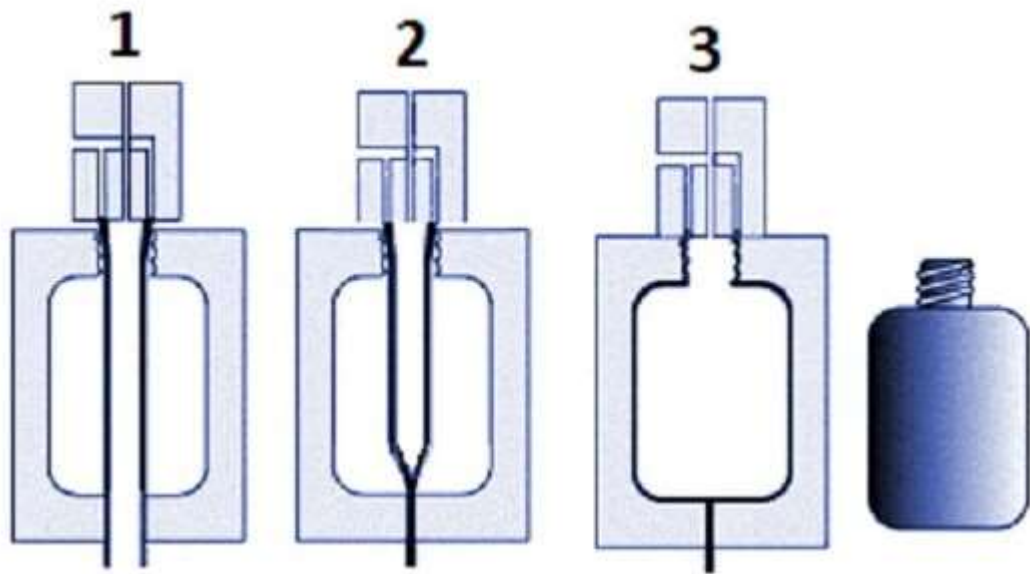
۱. پلاستیک به شکل گرانول وارد محفظه اصلی می‌شود.
۲. در این مرحله گرانول‌ها در محفظه ذوب می‌شوند.

۳. پلاستیک مذاب توسط پیچ درون محفظه به سمت قالب هدایت می شود.
۴. در مرحله بعد باد با فشار داخل قالب دمیده می شود.
۵. بعد از این که مذاب پلاستیکی توسط باد قالب را پر کرد و قالب سرد شد قطعه جدا می شود.



روش دوم: قالب گیری بادی تزریقی: مراحل این روش به ترتیب زیر است:

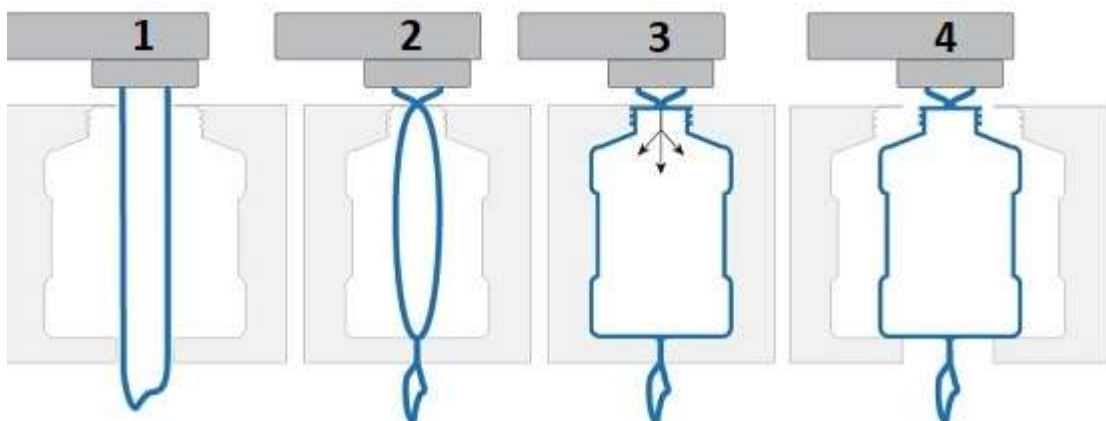
۱. ابتدا پلاستیک مذاب با یک نازل در قالب بادی تزریق می شود.
۲. در این مرحله باد دمیده می شود و مذاب به شکل قالب در می آید.
۳. نهایتاً پس از سرد شدن قالب، قطعه از قالب خارج می شود.



روش سوم: قالب گیری بادی کششی تزریقی: مراحل این روش به ترتیب زیر است:

۱. اول ماده داخل قالب تزریق شده، به سرعت خنک می شود و طرح اولیه آن شکل می گیرد.
۲. پس از آن وارد قالب دیگری می شود تا تحت کشش قرار بگیرد.
۳. در قالب دوم هم به صورت افقی و هم عمودی تحت کشش قرار می گیرد تا به ضخامت دلخواه برسد.

۴. وقتی به شکل دلخواه رسید قالب باز و قطعه خارج می شود.



۸-۳-۱: مزایای روش قالب گیری بادی

- تولید قطعات توخالی: این روش مناسبترین روش برای تولید قطعات توخالی و سبک است.
- سرعت بالا: فرآیند قالب گیری بادی معمولاً نسبت به سایر روش ها سرعت بالاتری دارد و می تواند قطعات زیادی در یک دوره زمانی کوتاه تولید کند.
- هزینه های پایین در تولید انبوه: در تولید انبوه، هزینه ها کاهش می یابد و این روش بسیار اقتصادی است.
- قابلیت استفاده از مواد مختلف: از این روش می توان برای تولید قطعات از مواد مختلف پلاستیکی مانند PET، پلی اتیلن و پلی پروپیلن استفاده کرد.

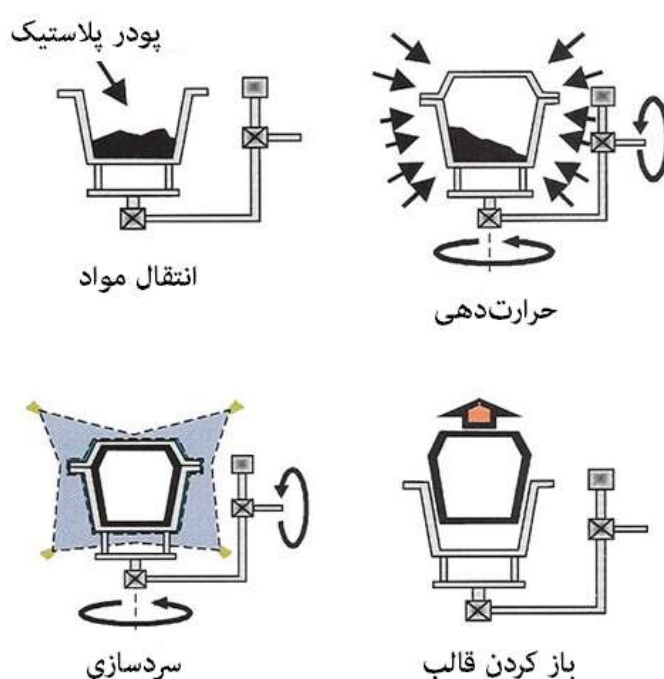
۸-۳-۲: معایب روش قالب گیری بادی

- محدودیت در شکل ها: قطعات تولیدی باید به گونه ای طراحی شوند که امکان دمیدن هوا به داخل آن ها وجود داشته باشد. بنابراین، این روش نمی تواند برای تولید قطعات با شکل های پیچیده یا با جزئیات زیاد مناسب باشد.
- نیاز به قالب های پیچیده: طراحی و ساخت قالب های بادی ممکن است نیاز به هزینه های بالاتری داشته باشد.

۸-۴: قالب گیری چرخشی

قالب گیری چرخشی یا Rotational Molding یک فرآیند تولید پلاستیک است که برای ساخت قطعات توخالی و با ضخامت یکنواخت استفاده می شود. این فرآیند عمدتاً برای تولید قطعات بزرگ و سبک وزن، همچنین قطعات با شکل های خاص و بدون درز (مانند مخازن آب و سطل های زباله) به کار می رود. مراحل فرآیند قالب گیری چرخشی به صورت زیر می باشد:

۱. انتخاب مواد اولیه: ابتدا پودر پلاستیکی یا رزین که می‌تواند از انواع مختلفی مانند پلی‌اتیلن، PVC، نایلون، یا پلی‌پروپیلن باشد، انتخاب می‌شود.
۲. پر کردن قالب: پودر پلاستیکی به داخل قالب فلزی ریخته می‌شود. این قالب‌ها ممکن است به شکل‌های مختلف مانند لوله، مخزن، جعبه و یا قطعات پیچیده باشند.
۳. گرمایش قالب: قالب پر شده از پودر، وارد یک کوره می‌شود. در این مرحله، قالب گرم می‌شود تا دمای آن به میزان مشخصی برسد، که معمولاً بین ۲۳۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است.
۴. چرخش قالب: در حین گرمایش، قالب به طور همزمان در دو جهت عمودی و افقی (چرخش به سمت جلو و عقب) می‌چرخد. این چرخش باعث می‌شود که پودر به صورت یکنواخت در سطوح داخلی قالب ذوب شود و به دیواره‌های قالب بچسبد.
۵. خنک کردن: پس از گذشت مدت زمان معین برای ذوب شدن پلاستیک، قالب به بخش خنک‌کننده منتقل می‌شود. در این مرحله، قالب به آرامی سرد می‌شود و پلاستیک جامد می‌شود.
۶. خروج قطعه: پس از خنک شدن، قطعه نهایی از قالب خارج می‌شود. این قطعه معمولاً به صورت یک قطعه توخالی و یکپارچه است که دارای ضخامت یکنواخت در تمامی نقاط خود است.



۸-۴-۱: مزایای روش قالب‌گیری چرخشی

- یکپارچگی و ضخامت یکنواخت
- امکان ساخت اشکال پیچیده
- هزینه پایین قالب و قطعات دیگر دستگاه
- مقدار کم ضایعات
- امکان قالب‌گیری چند محصول مشابه با رنگ‌های متنوع
- امکان تعویض راحت قالب

۸-۴-۲: معایب روش قالب‌گیری چرخشی

- زمان طولانی تولید
- محدودیت انتخاب مواد اولیه
- هزینه بالا مواد اولیه
- دشواری تهیه مواد اولیه ریزدانه و پودری

۸-۵: ترموفرمینگ

ترموفرمینگ (Thermoforming) یکی از روش‌های تولید مواد پلیمری است که در آن پلاستیک به کمک حرارت به شکل‌های مختلف قالب‌گیری می‌شود. این فرایند معمولاً برای تولید قطعات بزرگ و سبک، مانند ظروف یکبار مصرف، قطعات خودرویی، لوازم خانگی و بسیاری از محصولات دیگر استفاده می‌شود. مراحل فرآیند ترموفرمینگ به صورت زیر می‌باشد:

۱. گرم کردن پلاستیک: ورق پلاستیکی به دستگاه‌های گرمایش منتقل می‌شود تا به دمایی برسد که نرم و انعطاف‌پذیر شود، اما هنوز نقطه ذوب آن فرا نرسیده باشد. این مرحله معمولاً با استفاده از المنت‌های گرمایی یا سیستم‌های تابشی انجام می‌شود.

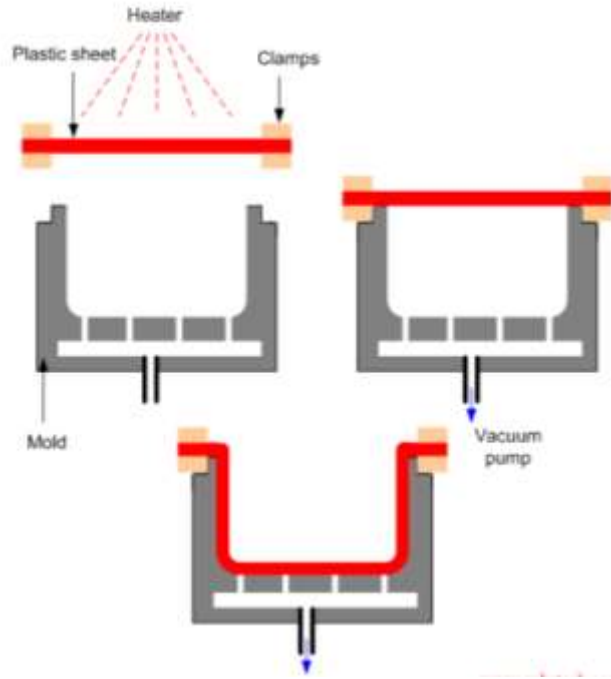
۲. شکل‌دهی پلاستیک: بعد از گرم شدن، پلاستیک به سرعت بر روی یک قالب قرار داده می‌شود. قالب ممکن است از جنس فلز، پلاستیک یا دیگر مواد باشد. در این مرحله، پلاستیک به دو روش ممکن است بر روی قالب قرار گیرد:

- ترموفرمینگ با فشار خلاء (Vacuum Forming): در این نوع، ورق پلاستیکی گرم‌شده روی قالب قرار می‌گیرد و سپس با استفاده از فشار منفی (خلأ) شکل قالب به خود می‌گیرد.

- ترموفرمینگ با فشار مثبت (Pressure Forming): در این روش، هوا به داخل یک حفره قالب وارد می‌شود و فشار مثبت بر روی ورق پلاستیکی وارد می‌شود تا آن را به داخل قالب فشار دهد.

۳. سرد کردن و تثبیت شکل: پس از شکل‌دهی، قطعه پلیمری به سرعت سرد می‌شود تا از حالت پلاستیک گرم خارج شده و شکل نهایی خود را حفظ کند. این کار معمولاً با استفاده از سیستم‌های سرمایش مانند آب سرد یا هوا انجام می‌شود.

۴. برداشت قطعه از قالب: پس از سرد شدن و تثبیت شکل، قطعه پلاستیکی از قالب خارج می‌شود. این قطعه آماده است تا در صورت نیاز، برای برش، سوراخ‌کاری یا عملیات تکمیلی دیگر مورد استفاده قرار گیرد.



۸-۵-۱: مزایای ترموفرمینگ:

- صرفه‌جویی در هزینه :نسبت به روش‌های دیگر تولید مانند تزریق پلاستیک، ترموفرمینگ برای تولید قطعات بزرگ و کم‌دقت مقرون به صرفه است.
- انعطاف‌پذیری در طراحی: این روش می‌تواند برای تولید انواع مختلفی از قطعات با ابعاد مختلف و اشکال پیچیده استفاده شود.
- سرعت تولید بالا: فرایند ترموفرمینگ به دلیل سادگی و سرعت بالا، برای تولید انبوه مناسب است.

۸-۵-۲: معایب ترموفرمینگ

- دقت کم‌تر :این روش برای تولید قطعات با دقت بسیار بالا مناسب نیست.
- محدودیت در ضخامت :ورق‌های پلیمری که در این فرآیند استفاده می‌شوند، معمولاً نمی‌توانند ضخامت‌های بسیار زیادی داشته باشند.