به نام خدا

طراحی قالب های تزریق پلاستیک

محمود نوری زاده

دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین

زمستان ۸۹

طراحی قالب هایتزریق پلاستیک

منابع درس تئوری:

۱- طراحی قالب های پلاستیک – آرجی ویلیام پای – اصغر رئوفی – انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان
۲- پلاستیک ها، فرآیند ها و قالب ها – جعفر وطن خواه دولت سرا – نشر طراح
۳- مهندسی پلاستیک – آرجیکرافورد – مهرداد کوکبی – دانشگاه تربیت مدرس
۴- تئوری و عملی قالب های تزریق پلاستیک – فرزاد بیغال – نشر طراح
۵- قالب های تزریق پلاستیک، ۱۰۸ مثال آزمایش شده
۶- پلاستیک های صنعتی، خواص و کار برد – جعفر وطن خواه دولت سرا – نشر طراح
۷- جزوه تکنولوژی پلاستیکبهزاد جباری پور

منابع درس آزمایشگاه:

۱- راهنمای نرم افزار Mold Flow Plastics Insight(MPI)– رضا علی پناه – نشر طراح

ارزش یابی:

۱- پایان ترم : ۱۵ نمره
۲- میان ترم : ۰ نمره
۳- تمرین و پروژه : ۵ نمره
۴- کوئیز : ۱ نمره

۲۱ نمره

سر فصل مطالب :

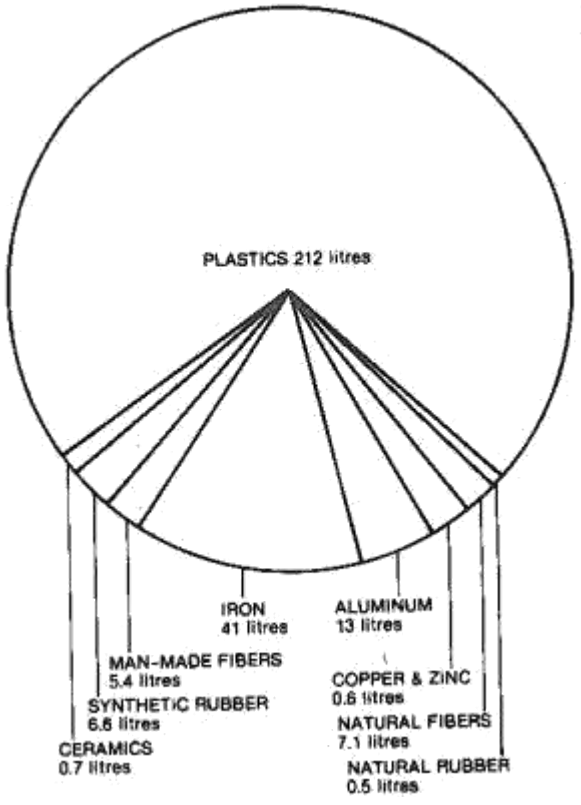
۱- تاریخچه پلاستیک
۲- تکنولوژی پلاستیک
۳- فرآیندهای قالب گیری پلاستیک
۴- طراحی قالب های تزریق پلاستیک

فصل اول: مقدمه و تاریخچه

۱-۱- مقدمه

امروزه پلاستیک ها جزیی از زندگی ما شده اند و در ساخت اشیای مختلف، از وسایل خانگی و مورد مصرف عمومی تا ابزار دقیق و پیچیده پزشکی و علمی، به کار می روند. مهندسان و طراحان، پلاستیک ها را به دلیل وجود ترکیبی از خواص متنوع، در مقایسه با سایر مواد مورد توجه قرار می‌دهند. این خواص عبارتند از: سبکی(وزن)، سختی و انعطاف پذیری، مقاومت در برابر خوردگی، رنگ پذیری، شفافیت، سهولت شکل پذیری و غیره. البته محدودیت هایی نیز در کاربرد پلاستیک ها وجود دارد که یک طراح خوب و ماهر می تواند آنها را به حداقل برساند. واژه پلاستیک به گروهی از مواد شبیه نایلون، پلی اتیلن، تفلون اشاره دارد، همانطور که واژه فلزات، آلومینیم، روی و فولاد را به خاطر می آورد. توجه به این نکته مهم است همچنانکه روی، خواص کاملا متفاوتی با فولاد در خانواده فلزات دارد، نایلون نیز خواصی کاملا متفاوت با تفلون در گروه پلاستیک ها دارد.

در واقع پلاستیک ها جزیی از خانواده ای بزرگتر موسوم به پلیمر ها محسوب می‌شوند. ساختمان پلیمر ها با مولکولهای دراز زنجیر گونه با ساختمان فلزات کاملا متفاوت هستند. مواد طبیعی مانند ابریشم، لاک، قیر طبیعی دارای چنین ساختمان مولکولی هستند. در اوایل قرن بیستم میلادی توجه زیادی به مواد پلیمری مصنوعی جدید معطوف شد. در سال ۱۹۰۷ میلادی فنل فرم آلدیید موسوم به باکلیت[1] ساخته شد، در اثنای جنگ جهانی دوم، موادی مثل نایلون، پلی اتیلن و اکرلیک موسوم به پرسپکس[2] به دنیا عرضه شد. نمودار زیر مصرف پلاستیک ها را در سال ۲۰۰۰ نشان می‌دهد.

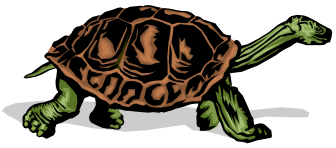


شکل ۱- مصرف سرانه سالیانه مواد اولیه در سال ۲۰۰۰، بر اساس نظر کنگره جهانی مهندسی شیمی

[1]- Bakelite
[2]- Perspex

۱-۲- سیر تاریخی تکنولوژی پلاستیک

۲-۴-۱- پلاستیک های طبیعی



الف) لاک لاکپشت: در روغن داغ نرم و شکل پذیر می شود برای تهیه ظروف و وسایل زینتی (۲۰۰ سال قبل از میلاد)

ب) شاخ: با قوطه ورسازی در محلول های قلیایی یا جوشاندن در آب نرم می شود و در صورت لزوم می تواند ورقه ورقه شود و در نهایت تحت فشار پرس شکل می گیرد. پودر سم گاو هم تحت فشار برای ساخت دکمه استفاده می شود.

ج) لاک شیشه ای (شلاک): ترشحات حشره لاک بر روی درخت است که در الکل حل می شود، ظاهری براق پیدا می کند و تحت فشار و حرارت و افزودن الیاف قالب گیری می شود. (قرن ۱۸ میلادی)

د)لاستیک طبیعی یا گوتا پرشا (Gutta Percha): از درختان گوتا پالاکوئیوم (Palaquium Gutta) تهیه شده و در آب داغ نرم و شکل پذیر می شود و برای روکش عایق کابل ها مورد استفاده قرار می‌گرفت. (درختان بومی جزیره مالایا) (۱۸۴۳ میلادی)

۲-۴-۱- مواد طبیعی اصلاح شده

الف)کازئین : از شیر لخته شده به دست می آید وقتی به آن فرمالئید زده شود سخت می شود و به آن گالالیت می گویند . برای ساخت قطعات کوچک مثل دکمه ها و دسته چتر و . . . استفاده می شده است. (۱۸۹۷)

ب) لاستیک یا کائوچو (Caoutchouc or Rubber): از صمغ طبیعی درختان (خصوصاً درخت لاستیک در هند و مالزی) بدست می آید. ماده طبیعی در هوای گرم نرم می شود و در هوای سرد سخت و شکننده و اولین با در سال ۱۸۲۳ برای تهیه لباس های بارانی استفاده

شد(توسط Charles Macintosh). مشکلات آن چسبندگی در تابستان و شکنندگی در زمستان بود.

در سال ۱۸۳۹ Charles Goodyear کشف کرد که ولکانیزه کردن (افزودن گوگرد) موجب تقویت استحکام و کاهش حساسیت به دما در لاستیک می شود و با افزایش گوگرد سختی هم افزایش می یابد و بنابراین با افزودن گوگرد می توان سختی و نرمی لاستیک را کنترل کرد ولی رنگ آن تیره می شود. از این لاستیک برای ساخت انواع کالاها از قبیل عایق سیم، اسباب بازی، وسایل ورزشی، خود نویس و . . . استفاده شد.

ج) سلوئید (Celluloid):با افزودن اسید نیتریک و اسید سولفوریک به تخمه های پنبه و کتان و در نهایت اضافه کردن کافورساخته شد (۱۸۹۰ توسط Alexander Parkes).

۲-۴-۱- پلاستیک های مصنوعی اولیه

دکتر لئو اچبائلکند در ۱۹۰۷ از واکنش فنل و فرمالدوئید یک ماده پلاستیکی کشف کرد که آن را باکلیت (Bakelit) نامید. پس از آن نیز دیگران به تولید پلاستیک های مشابهی اقدام کردند که فنولیک نامیده می شد و این گونه پلاستیک ها به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت (برای مثال در خودروها).

۲-۴-۱- پلاستیک های مصنوعی تجاری

طی تلاش های دانشمندان در فاصلهء سالهای دهه ۱۹۳۰ میلادی ماهیت شیمیایی و ساختاری پلاستیک ها کشف شد و بسیاری از پلاستیک های مصنوعی که امروزه مورد استفاده قرار می گیرد در فاصله سالهای ۱۹۳۵ تا ۱۹۴۵ ساخته شد و مورد استفاده قرار گرفت.

فصل دوم: تکنولوژی پلاستیک

۲-۱- مواد پلیمری

این مولکولهای مصنوعی بلند از اتصال و به هم پیوستن هزاران واحد کوچک مولکولی، موسوم به منومر[3] تشکیل شده اند. روش اتصال مولکولها به یکدیگر را پلیمرشدن[4] می نامند و تعداد این واحد های کوچک مولکولی در زنجیر دراز به درجه پلیمره شدن موسوم است.

نامگذاری بسیاری از پلیمر ها تنها با افزودن پسوند پلی[5] به نام منومر مربوطه به دست می‌آید، مانند پلی پروپیلن و پلی استایرن به ترتیب از منومرهای پروپیلن و استایرن به دست آمده اند.

واژه های پلیمر ها و پلاستیک ها معمولا هنگام کاربرد مترادف فرض می‌شوند، اما در واقع با یکدیگر تفاوت دارند. پلیمر ماده خاصی است که از واکنش پلیمر شدن حاصل می‌شود. این واژه معمولا به عنوان نام خانوادگی کلی موادی به کار می رود که دارای مولکولهای دراز زنجیر گونه است و حتی کشسانها[6] را نیز شامل می‌شود.

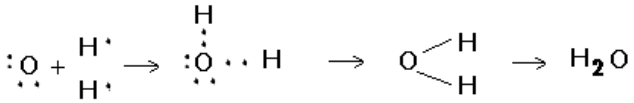
۲-۱-۴- ساختار شیمیایی

مولکول ← ترکیب دو یا چند اتم

خواص مولکول ها ←
- عناصر(اتم ها)
- تعداد اتم ها ← اندازه مولکول
- نوع پیوند شیمیایی ← قدرت پیوند؛ استحکام مولکول

مثال : H_2O

جرم اتمی: $16+2\cdot1=18$

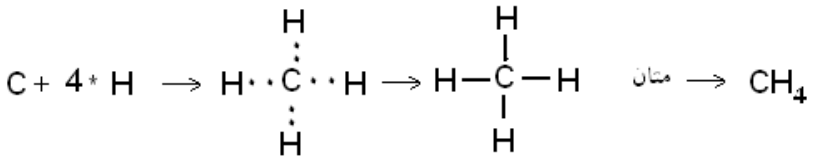


پیوند شیمیایی ← اتصال اتم ها به یکدیگر

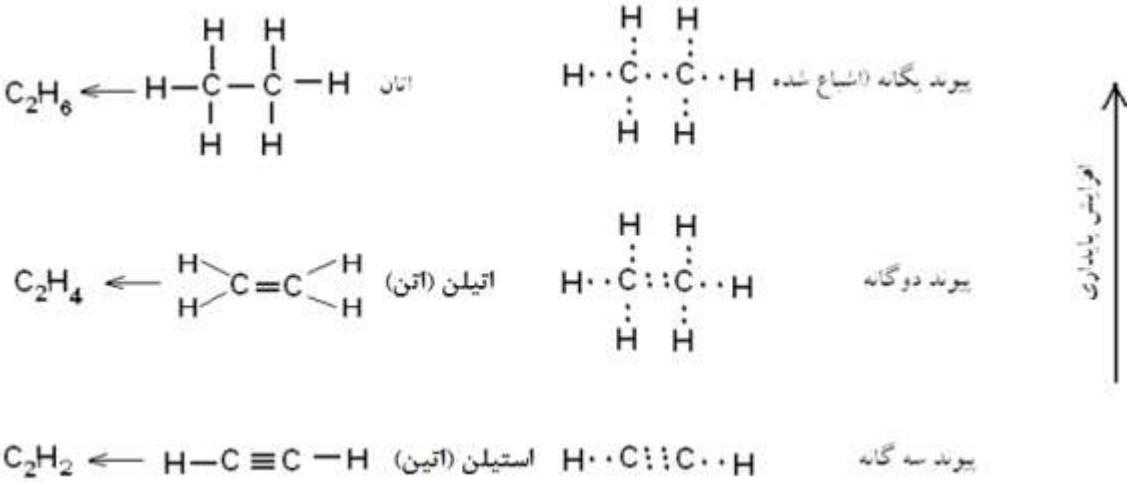
پیوند شیمیاییمیان اتم ها ←
۱- پیوند کوالانسی ← پیوند شیمیاییموجود در پلاستیک ها
۲- پیوند یونی
۳- پیوند فلزی

در ادامه اثر پیوند و طول زنجیره بر خواص فیزیکی پلیمرها به صورت مقایسه ای بحث شده است.

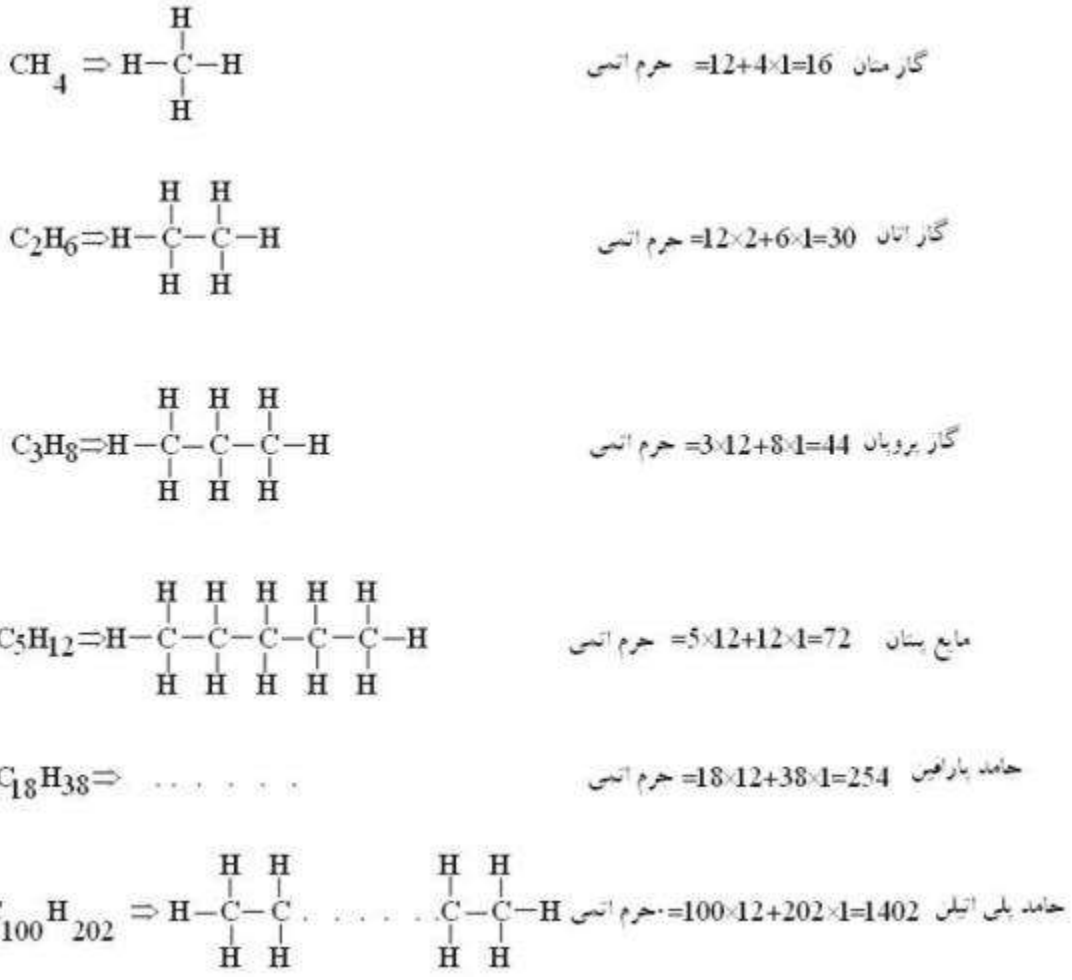
---
[3]- Monomer
[4]-pulymerization
[5]- Poly
[6]- Rubbers



مقایسه پیوندهای کووالانسی یگانه، دوگانه و سه گانه:



اثر تعداد کربن (طول زنجیره پلیمری) بر خواص فیزیکی:



بنابراین با افزایش طول زنجیره کربنی،حالت فیزیکی ماده به صورت زیر تغییر می‌کند:

افزایش طول زنجیره کربن ←

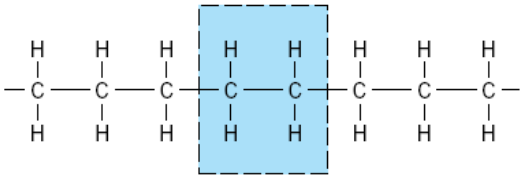
جامدات سخت ⟵جامدات انعطاف پذیر ⟵ جامدات ضعیف (واکس ها) ⟵ مایعات سنگین (روغن،گیریس) ⟵ مایع سبک ⟵ گاز

۲-۴-۱- پلیمرها

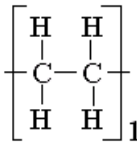
ساده ترین ساختار پلیمری ⟵ پلی اتیلن PE

پلاستیک ها زیر مجموعه ای از پلیمرها هستند. Poly-Mer

برای نمایش پلیمرها فقط کوچکترین واحد تکراری پلیمر رسم می شود که به آن منومر می گویند.



Polyethylene (PE)



نشان دهنده درجه پلمیریزاسون (تعداد منومرهای متصل به هم در یک مولکول پلیمر) ⟵ n

هرچه درجه پلمیریزاسیون بالاتر رود طول زنجیر بلندتر می شود و خواص مکانیکی آن نیز تقویت می شود، فقط پروسه تولید مشکل تر و ماده دیرذوبتر می شود.

اغلب پلاستیک ها به جز اتم های کربن و هیدروژن دارای اتم های زیر نیز می توانند باشند:

اکسیژن (o) ، نیتروژن (N) ، کلر(Cl) ، فلوئور (F) و گوگرد (S)

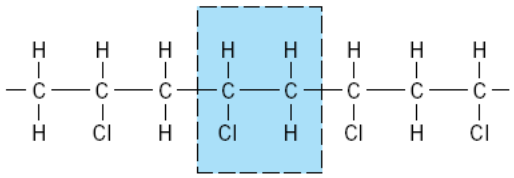
همو پلیمر ها : هرگاه فقط یک نوع منومر در ساختار یک پلیمر وجود داشته باشد به آن همو پلیمر گویند.

کوپلیمرها : هرگاه فقط دو نوع منومر در ساختار یک پلیمر وجود داشته باشد به آن کوپلیمر گویند.

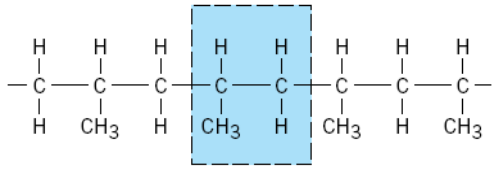
ترپلیمرها : هرگاه فقط سه نوع منومر در ساختار یک پلیمر وجود داشته باشد به آن ترپلیمر گویند.

۳-۱-۳-۱- همو پلیمر ها

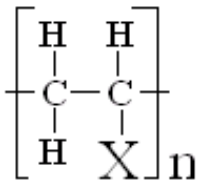
هموپلیمرهای حاصل از جایگزینی یکی از اتم های هیدروژن در مونومر پلی اتیلن:



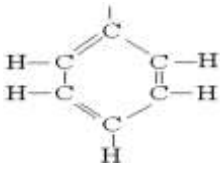
PolyvinylChloride (PVC)



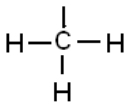
Poly Propylene (PP)



مخفف	پلیمر حاصل	X
PE	پلی اتیلن	H
PVC	پلی ونیل کلراید	CL
PVF	پلی ونیل فلوراید	F
PP	پلی پروپیلن	CH3 (متیل)
PS	پلی استایرن	C6H5 (فنیل)
PAN	پلی اکریلو نیتریل	CN
PVA	پلی ونیل الکل	OH
PVAc	پلی ونیل استات	OOCCH3
PMA	پلی متیل اکریلات	COOCH3

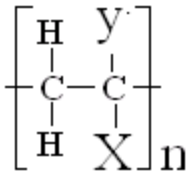


C6H5← گروه فنیل (حلقه بنزن) ←



CH3← گروه متیل ←

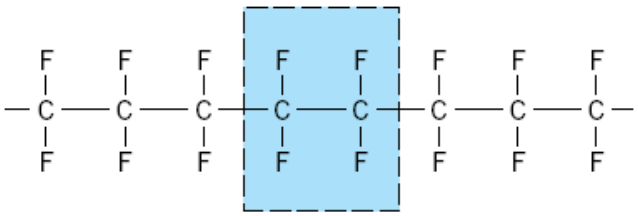
هموپلیمرهای حاصل از جایگزینی دو اتم هیدروژن در مونومر پلی اتیلن:



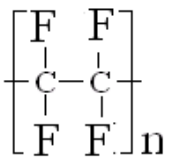
مخفف	پلیمر حاصل	Y	X
PVDC	پلی وینیل دن کلراید	CL	CL
PVDF	پلی وینیل دن فلوراید	F	F
PMMA	پلی متیل متا اکریلات	CH3	COOCH3

یک نمونه هموپلیمر حاصل از جایگزینی چهار اتم هیدروژن در مونومر پلی اتیلن:

پلی تترا فلوئورو اتیلن (PTFE) با نام تجاری تفلون

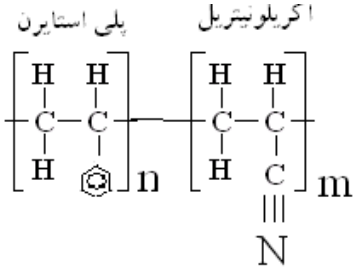


Poly Tetra Fluoro Ethylene (PTFE)



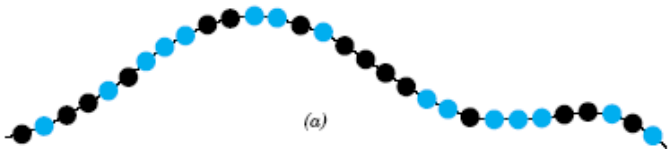
۳-۱-۳-۲- کوپلیمیرها

یک نمونه کوپلیمر:

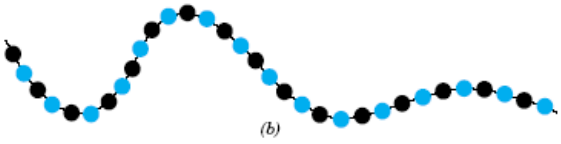


کنار هم قرار گیری ۲ منومر در ساختار کوپلمیرها :

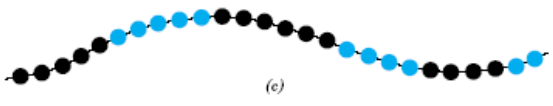
۱	کوپلیمر تصادفی	. . . ABBAAABABAABBBAABABBBBA . . .
۲	کوپلیمر متناوب	. . . ABABABABABABABABABABABAB . . .
۳	کوپلیمر بلوکی	. . . AAAAABBBAAABBBBAAAAAABBB . . .
۴	کوپلیمر شاخه ای	. . . AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA . . . B B B B B B B B B



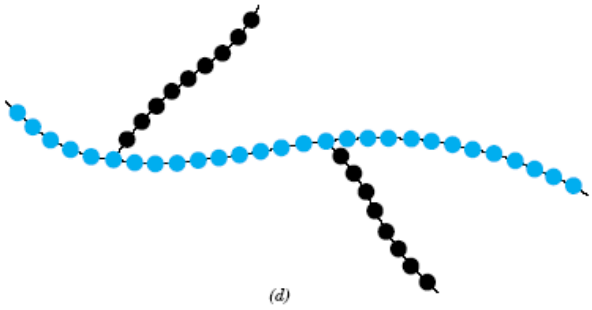
کوپلیمر تصادفی



کوپلیمر متناوب



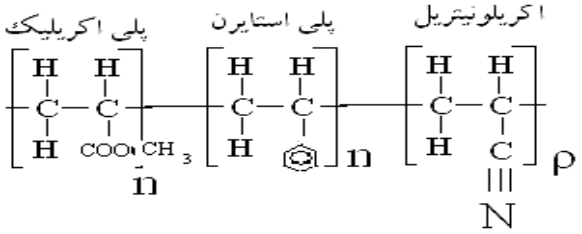
کوپلیمر بلوکی



کوپلیمر شاخه ای

۳-۱-۳-۲- ترپلیمرها

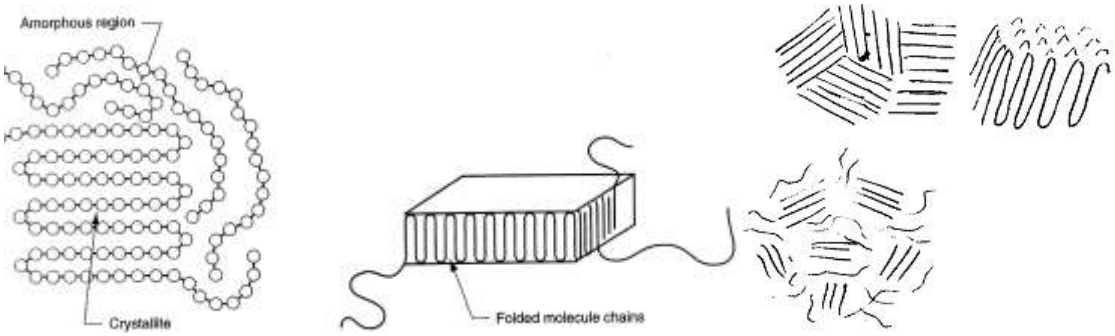
یک نمونه ترپلیمر:

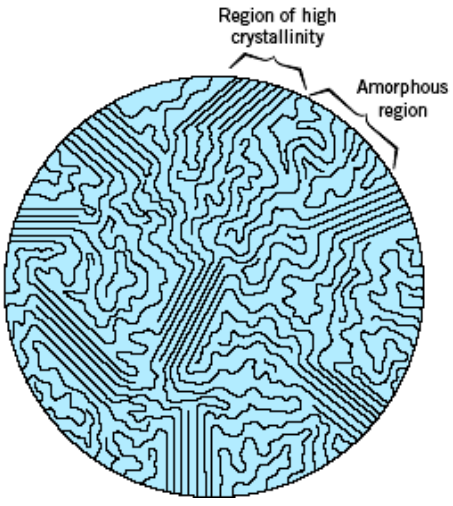


۲-۲- آرایش ملکولی در پلاستیک ها

۲-۴-۱- پلاستیک های کریستالی (نیمه کریستالی)

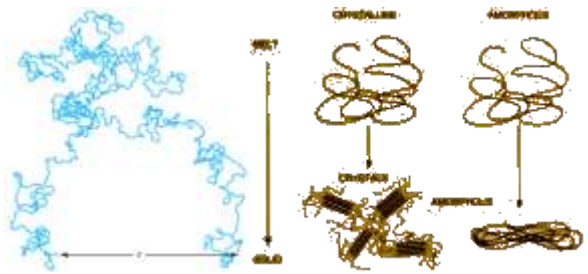
در برخی پلاستیک ها در حین انجماد نواحی کریستالی گسترش پیدا می کند که این نواحی کریستالی توسط نواحی بیشکل احاطه شده اند (نیمه کریستالی).





۲-۴-۱- پلاستیک های بی شکل (آمرف)

در این پلاستیک ها ، زنجیره های مولکولی هیچ نظمی ندارد . هرچه گروه هایی که به زنجیره کربنی متصل می شوند کوچکتر باشند (مثل H ، متیل و . . .) امکان تشکیل ساختار های کریستالی بیشتر است و بالعکس هرچه این گروه ها بزرگتر باشند ، با شاخه دار شدن زنجیره و ممانعت فضایی ناشی از آن ، ساختار به سمت آمرف تمایل پیدا می کند.

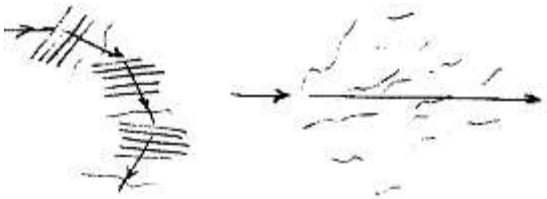


مثال : PEو PP← نیمه کریستالی

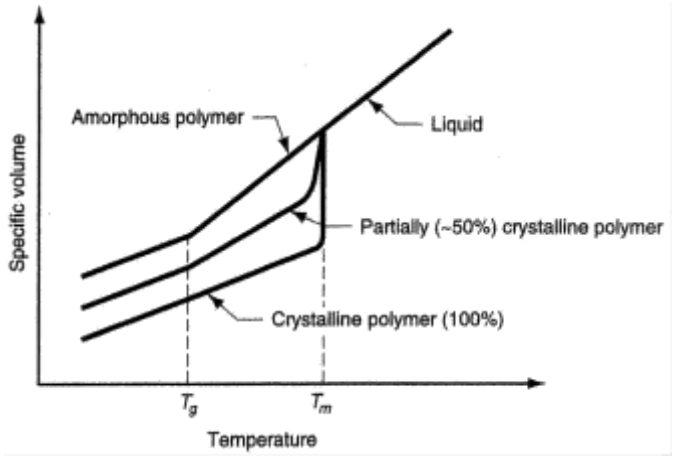
PVCو PS ← آمرف

تفاوت های ساختار کریستالی و آمرف :

۱- پلاستیک های آمرف شفاف هستند در حالی که نیمه کریستالی ها غیر شفاف هستند.



۲- دانسیته (چگالی): هرچه نظم مولکول ها بیشتر باشد چگالی بالاتر است. بنابراین چگالی پلاستیک‌های نیمه کریستالی از پلاستیک های آمرف بیشتر است (توضیح: حجم مخصوص عکس چگالی است و نمودار زیر تغییرات حجم مخصوص پلیمرها برحسب دما را نشان می‌دهد).

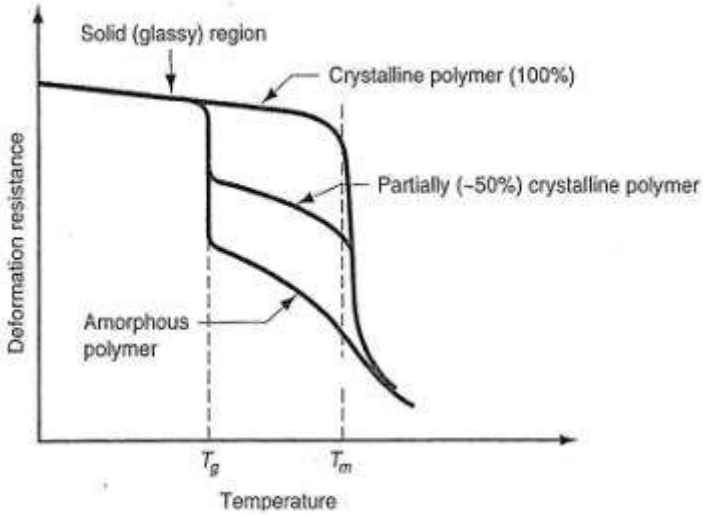


۳- انقباض حین انجماد: بنا به دلیل قبلی پلاستیک های نیمه کریستالی حین انجماد انقباض بیشتری پیدا می کنند.

مثال : انقباض قطعه های از جنس HDPE پس از خروج از قالب خیلی بیشتر از قطعات از جنس PS است.

۴- ذوب : هرچه ماده دارای ساختار مولکولی منظم تری باشد، دامنه دمایی ذوب آن نیز باریکتر می شود مثلاً آب به عنوان ماده ای که حین انجماد کاملاً کریستالی ما شود ، دقیقاً در $0^{\circ}C$ ذوب می شود در حالی که شیشه که ماده ای آمرف است با افزایش دما ابتدا نرم می شود سپس خمیری می شود و در نهایت مایع می شود .

پلاستیک های آمرف هم ابتدا چرمی می شوند سپس انعطاف پذیر می شوند و در نهایت در منطقه وسیعی از درجه حرارت ذوب می گردند. در حالی که پلاستیک های کریستالی در دامنه باریکی از دما ذوب می شوند. درجه حرارت ذوب (Tm) معمولاً برای پلاستیک های کریستالی و درجه حرارت انتقال شیشه ای (Tg) برای پلاستیک های آمرف به کار می رود.



شکل دهی پلاستیک های آمرف بسیار ساده تر از پلاستیک های کریستالی است چون دامنه دمایی شکل پذیری بالاتر است.

۲-۴-۱- جهت گیری مولکولی

کلیه پلاستیک ها (حتی پلاستیک های کریستالی) در حالت مذاب بی شکل هستند. وقتی که پلاستیک مذاب جریان پیدا می کند ، مولکول ها کشیده می شوند و اگر سرعت جریان بالا باشد ، این مولکول ها تقریباً به صورت خطوط مستقیم کشیده می شوند به این پدیده جهت گیری (Orientation) می گویند.

اگر به پلاستیک مذاب در حالی که جهت گیری پیدا کرده است فرصت کافی جهت سرد شدن داده شود (خنک کاری تدریجی) در این صورت جهت گیری خود را از دست داده و به صورت ساختار کریستالی در می آید.

اما اگر پلاستیک در این شرایط به سرعت سرد می شود مولکول ها مولکول ها در وضعیت کشیده شده و با جهت گیری قبلی منجمد می شوند. این وضعیت پایدار نیست و مولکول ها تمایل دارند از وضعیت کشیده شده خارج شوند. در این شرایط تنش هایی در مولکول ها بوجود می آید که به تنش های پسماند (Residual Stresses) معروف است و در صورتی که ماده معرض گرمای کافی قرار بگیرد این تنش ها آزاد می شوند و مولکول ها از حالت کشیده شده خارج می شوند و ماده دچار اعوجاج می شود و معمولاً قطعه را غیر قابل استفاده می کند . برای جلوگیری از این مشکل گاهی در فرآیند تولید این تنش ها را با گرمادهی آزاد می کنند(Annealing) و پس از آن با پرسکاری یا ماشینکاری ابعاد قطعه را اصلاح می کنند. غالباً اشیاء ضخیم دچار جهت گیر ی نمی شوند چون به سرعت سرد نخواهند شد.

۳-۱-۳-۴- جهت گیری تک محوره (Uniaxial Orientation)

در صورتی که پلاستیک در راستای یک محور جهت گیری پیدا کند استحکام آن در راستای آن محور افزایش می‌یابد و در راستای عمود بر آن ضعیف می شوددر ضمن میزان انقباض آنها حین انجمادر راستای محور خیلی بیشتر است.

مثال : نوار تفلون آب بندی یا فیلم های نازک پلاستیک درب بطری های شیشه ای.

۳-۱-۳-۵- جهت گیری دومحوره (Biaxial Orientation)

در صورتی که پلاستیک در دو راستا (معمولاً عمود بر هم) جهت‌گیری پیدا کند حین سرد شدن از انقباض قابل توجهی برخوردار خواهد بود (در راستای ۲محور). از این خاصیت در پوشش‌های شیرینگ استفاده می شود بدین صورت که ابتدا این پوشش بر روی محصول قرار می‌گیرد و سپس با حرارت دادن توسط سشوار، پوشش جمع می‌شود و بر روی محصول منطبق می‌شود .

" پرسش "

۱- مفاهیم زیر را توضیح دهید :

الف – کوپلمیر

ب – کوپلمیر بلوکی

۲- پلاستیک های نیمه کریستالی و آمرف را در مشخصه های زیر با یکدیگر مقایسه کنید:

الف – شفافیت

ب – دانسیته (چگالی)

ج – میزان انقباض حین انجماد

د - درجه حرارت ذوب

۲-۴-۱- نیروهای بین مولکولی

تعیین کنندهٔ ←
- نقطه ذوب
- انحلال
- استحکام کششی
- شکست

نیروی جاذبه میان ملکول ها در مقایسه با پیوندهای شیمیایی میان اتم هادرمولکول،بسیارضعیف تر می باشد.

نیروهای بین مولکولی در پلاستیک ها ←
- نیروهای واندروالس
- برهم کنش های دوقطبی دوقطبی
- پیوندهای هیدروژنی

نیروهای واندروالس بین همه مولکول‌ها موجود می باشد و در بروز اندکی از اختلافات میان پلیمرهای مختلف سهیم می‌باشد.

برهم کنش‌های دوقطبی دوقطبی وقتی به وقوع می پیوندند که مولکول‌ها یا بخش‌هایی از آنها قطبی می‌شوند یعنی در آنها بارهای الکتریکی به صورت ناهمگون توزیع می شود.

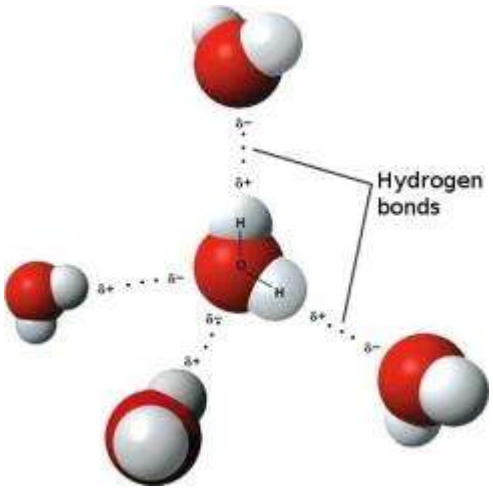
پیوند هیدروژنی حالت خاصی از بر همکنش دوقطبی دوقطبی است که به پیوند میان اتم هیدروژن از یک مولکول و اتم اکسیژن یا نیتروژن از مولکول دیگر نیاز دارد. پیوند هیدروژنیقویترین نوع از نیروهای بین مولکولیمی‌باشد.

پلاستیک هایی دارای پیوند دوقطبی دوقطبی هستند که یکی از موارد زیر را داشته باشند:

۱- پیوند ساده یا یگانه C - Cl

۲- پیوند ساده یا یگانه C - F

۳- پیوند دو گانه C = O



پلاستیک هایی دارای پیوند هیدروژنیهستند که یکی از موارد زیر را داشته باشند:

۱- پیوند ساده یگانه C - OH

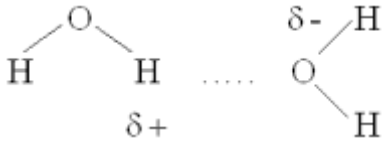
۲- پیوند ساده یگانه N - H

مثال (۱): مقایسه خواص فیزیکی آب و متان

فرمول شیمیایی	وزن مولکولی	نقطه ذوب	نقطه جوش
H2O	18	0	100
CH4	16	-183	-162

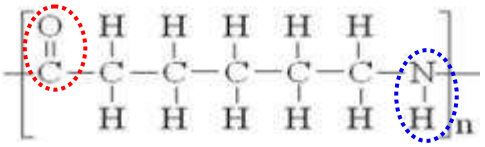
مولکول های آب و متان از لحاظ اندازه و ابعاد تقریباً شبیه به هم هستند ولی خواص فیزیکی آنها بسیار متفاوتاست.

علت: وجود پیوند هیدروژنی در آب

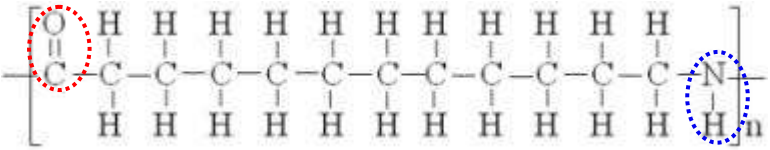


مثال (۲): نایلون ← دارای نیتروژن و پیوند N-H است ← پیوند هیدروژنی دارد ← کشسان است چون پیوند های هیدروژنی مانند فنر عمل می کنند .

نایلون ۶: دارای یک پیوند دوقطبی و یک پیوند هیدروژنی به ازای هر ۶ اتم کربن در ساختار است.



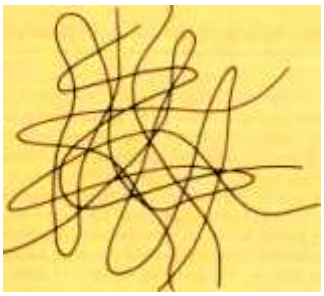
نایلون ۱۲: دارای یک پیوند دوقطبی و یک پیوند هیدروژنی با ازای هر ۱۲ اتم کربن در ساختار است.



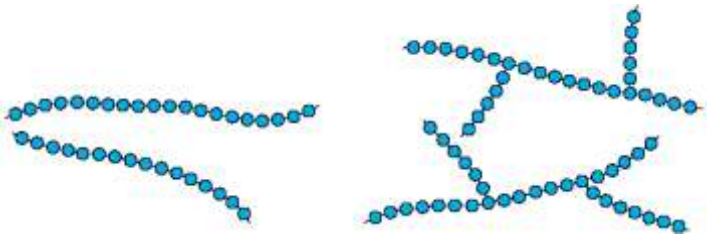
نایلون ۶ از استحکاک بالاتر و همچنین نقطه ذوب بالاتری نسبت به نایلون ۱۲ برخوردار است .

۲-۳- ترموست ها و ترمو پلاستیک ها

ترموپلاستیک ها (پلاستیکهای گرمانرم):دراین پلاستیک ها مولکول ها باوجودطول بلندشان به یکدیگر اتصال ندارد و به راحتی بر روی یکدیگر می لغزند و در اثر حرارت به راحتی ذوب می شوند. (مثل یک ظرف اسپاگتی)



ترموپلاستیک ها دارای دو ساختار خطی (Linear) و شاخه‌ای (Branched) هستند.



ساختار شاخه‌ای ساختار خطی

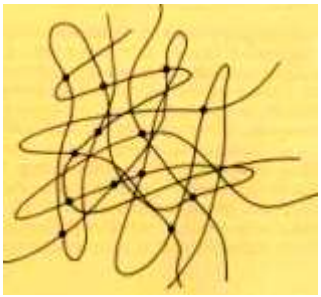
نمونه هایی از ترموپلاستیک های بی شکل (آمرف) و بلوری (نیمه کریستالی) در جدول زیر آمده است:

بی شکل	بلوری
○ پلی‌وینیل کلراید (PVC)	○ پلی اتیلن (PE)
○ پلی‌استایرن (PS)	○ پلی‌پروپیلن (PP)
○ پلی‌کربنات (PC)	○ پلی‌آمید (PA)
○ اکریلیک (PMMA)	○ استال (POA)
○ اکریلونیتریل-بوتادی‌ان-استایرن (ABS)	○ پلی‌استر (PETP, PBTP)
○ پلی‌فنیلن (PPO)	○ فلوروکربنها (FET, PFA, PTFE, ETFE)

مقایسه خواص ترموپلاستیک های بی شکل (آمرف) و بلوری (نیمه کریستالی) در جدول زیر آمده است:

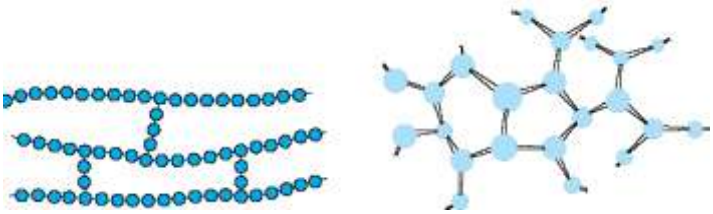
بی شکل	بلوری
○ **محدوده گسترده‌تر نرمش** - جنبش گرمایی مولکولها، پیوندهای ثانویه ضعیف را می‌شکند. آهنگ این عمل در سرتاسر ساختار بی‌شکل متفاوت است و موجب گسترده شدن محدوده دمای نرمش می‌شود. ○ **معمولاً شفاف** - ساختار ضعیف نور را عبور می‌دهد، بنابراین ماده شفاف به نظر می‌رسد. ○ **جمع‌شدگی (آبرفتگی) اندک** - تمام گرمانرمها در حالت بی‌شکل، فراورش می‌شود. در اثر سرد شدن، آرایش بدون نظم مولکولها، موجب کمترین تغییر حجم جسم و در نتیجه آبرفتگی اندک آن می‌شود. ○ **مقاومت شیمیایی اندک** - ساختمان نامنظم بسیار باز، موجب نفوذ عمیقتر مواد شیمیایی در مادّه می‌شود که بسیاری از پیوندهای ثانویه را از بین می‌برد. ○ **مقاومت کم در برابر سایش و خستگی** - ساختار نامنظم مادّه کمترین کمک را به بهبود خواص سایشی یا خستگی می‌کند.	○ **نقطه ذوب مشخص** - ساختار متراکم منظم، موجب شکستن همزمان پیوندهای ثانویه می‌شود. ○ **معمولاً کدر (مات)** - اختلاف در شاخص انکسار بین دو فاز (بلوری و بی‌شکل) موجب تداخل نوری می‌شود بطوری که مادّه کدر یا مات به نظر می‌رسد. ○ **آبرفتگی زیاد** - در اثر سردشدن مادّه از حالت بی‌شکل، پلیمرها ساختاری متراکم و کاملا آرایش یافته پیدا می‌کنند. این امر موجب تغییر حجم قابل توجه و درنتیجه جمع شدگی (آبرفتگی) زیاد می‌شود. ○ **مقاومت شیمیایی زیاد** - ساختار کاملا متراکم از حمله عمیق مواد شیمیایی به داخل مادّه جلوگیری می‌کند. ○ **مقاومت در برابر سایش و خستگی** - ساختار یکنواخت منشأ خواص سایشی و خستگی خوب آنهاست.

ترموست ها: در این نوع پلاستیک ها،رشته های مولکولی با پیوند های شیمیایی به یکدیگر متصل شده اند. به این پیوندهای شیمیاییاتصالات عرضی (Cross link) گفته می شوند. این پلاستیک ها در اثر حرارت نرم نشده یا خم نمی شوند بلکهمی‌سوزند و خاکستر می‌شوند. همچنین این مواد معمولاً به صورت مذاب قالب گیری نمی شوند بلکه با اعمال فشار و حرارت به پودر آنها قالب گیری صورت می گیرد. این پلاستیک ها بواسطه پیوند شیمیایی بین مولکولی، مقاومت بالایی در مقابل حلال ها نیز دارند.



در صورتی که تعداد زیادی اتصالات عرضی در ماده موجود باشد، ترموست صلب تشکیل می شود. درغیر این صورت ترموست انعطاف پذیر شکل می‌گیرد (مانند لاستیک، پلی اوره‌تان –مورد استفاده در فوم های صندلی خودرو- ، مبل و ...).

یکی از معایب ترموست ها عدم امکان بازیافت آنهاست.ترموست ها دارای دو ساختار اتصالات عرضی (Crosslinked) و شبکه‌ای (Network) هستند.

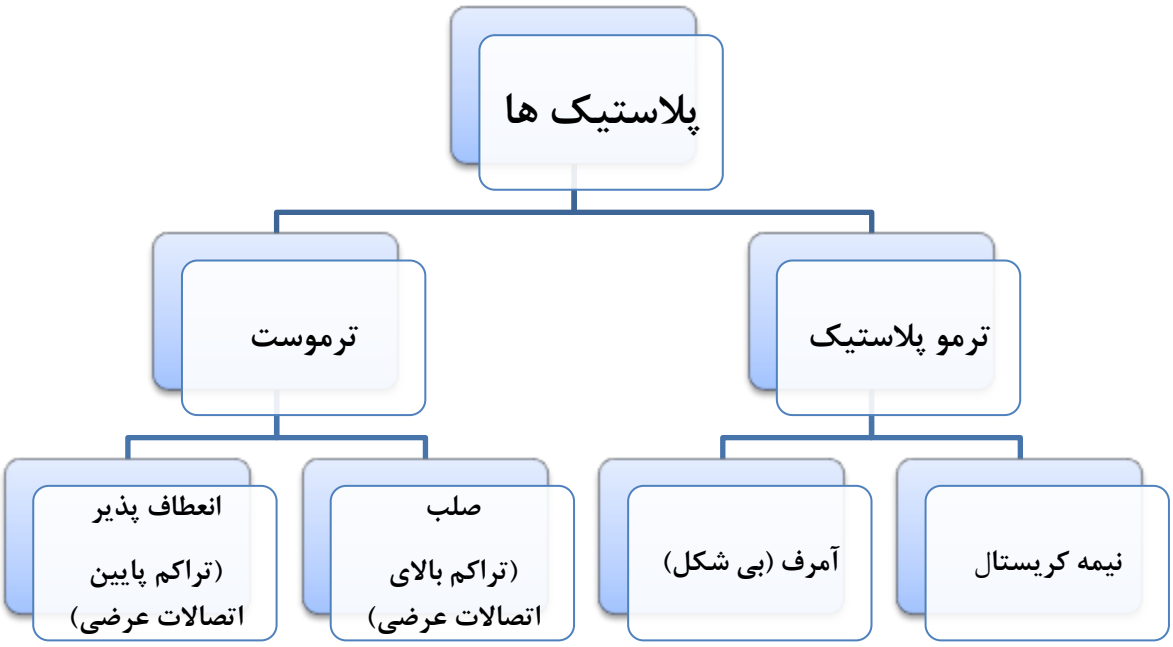


ساختار شبکه‌ای ساختار اتصالات عرضی

ترموست ها با واکنش شیمیایی دومرحله ای تهیه می شود:

- در اولین مرحله، مولکولهای‌دراز زنجیرگونه ای، شبیه آنچه برای‌پلاستیکهای‌گرمانرم ذکر شد، تشکیل می شود که همچنانقابلیت انجام واکنش دیگری را دارد.
- مرحله دوم واکنش یعنی ایجاد اتصالات عرضی بین زنجیرها در خلال عملیات قالبگیری و در اثر اعمال حرارت و فشار صورت می گیرد.

قطعه حاصل، پساز سرد شدن سخت به نظر می رسد، در حالی که از نظر ساختمانی شبکه مولکولی متراکمی درآن ایجاد شده است. در مرحله دوم واکنش، زنجیرهای دراز مولکولی با پیوندهایی قوی بهیکدیکر متصل می شوند و ماده نمی تواند در اثر حرارت، دوباره نرم و روان شود. اگر حرارتدادن افزایش یابد، ماده تخریب مولکولی شده و به زغال مبدل می شود. این رفتار را می توان بهتخم مرغ سفت شده در آب جوش تشبیه کردکه وقتی خنک می شود سخت است و در اثرحرارت دادن مجدد، نرم نمی شود.



۲-۴- اجزا تشکیل دهنده پلاستیک ها

پلیمرها بندرت به صورت خالص مصرف می‌شود و با افزودن مواد دیگری به آن مورد استفاده قرار می‌گیرند که در این حالت اصطلاحا پلاستیک نامیده می‌شوند. پلیمر ها به دلایلی نیازمند مواد افزودنی هستند که در ذیل به بیان این مواد افزودنی و دلایل استفاده از آنها اشاره شده است. بیشتر پلاستیک ها شامل یک ماده پلیمری (زمینه پلاستیک) هستند که به منظور بهبود یا تغییر برخی خواص به آنها مواد دیگری (افزودنی ، تقویت کننده یا پرکننده) اضافه می شود. یک پلاستیک از موارد زیر تشکیل شده است:

۱- زمینه پلاستیک (پایه پلیمری اصلی)
۲- افزودنی ها (Additives)
۳- تقویت کننده ها (Reinforcement)
۴- پرکننده ها (Fillers)

زمینه پلاستیک همانپلیمر اصلی مورد استفاده است. سایر موارد لیست فوق به شرح زیر می‌باشند:

۲-۴-۱- افزودنی ها

افزودنی ها مواد شیمیایی هستند که در ساختار یا فرآیند تولید تاثیر می گذارند.

- اغلب پیش از عملیات ساخت و تولید با ماده پایه مخلوط می شوند.
- فقط رنگ دانه ها و عوامل ایجاد کننده تخلخل را می توان حین فرآیند هم با زمینه پلاستیک مخلوط کرد.

۲-۴-۱-۱- آنتی اکسیدان ها (Anti Oxidants) AOs

از واکنش اکسیژن با پلاستیک ها (که در دمای بالا معمولاً رخ می دهد)، زنجیره های پلیمری بریده بریده می شوند و استحکام ماده به طور قابل توجهی کاهش می یابد. آنتی اکسیدان ها با متوقف کردن واکنش های اکسید کننده و یا خنثی کردن مواد اکسید کننده، از اکسیداسیون پلاستیک ها جلوگیری می کنند. ازمیان پلاستیک های مختلف پلی اتیلن و پلی پروپیلن به آسانی اکسید می شوند و معمولاً برای فرآیند های قالب گیری و اکستروژن لازم است اندکی آنتی اکسیدان به آنها اضافه شود.

انواع اصلی آنتی اکسیدان‌ها:
- ۱- متولیکی
- ۲- آمینی
  → متوقف کننده واکنش های اکسیدی
- ۳- فسفیتی
- ۴- تیواستری
  → خنثی کننده مواد اکسید کننده

۲-۴-۱-۲- عوامل ضد الکتریسیته ساکن (Anti Static Agents)

- احتمال ایجاد جرقه یا تخلیه الکتریکی را کاهش می‌دهند.
- با جذب رطوبت هوا، سطح هدایت الکتریکی را بالا می برند و بارهای ساکن را پراکنده می کنند.
- هم به صورت مخلوط با زمینه پلاستیک اصلی به کار می روند و هم به صورت پوشش بر روی پلاستیک.

- متداول ترین آنها: آمین ها، فسفات های آلی و استر گلیکول پلی اتیلنی

۲-۴-۱-۳- رنگدانه ها (Colorants)

برای رنگ آمیزی پلاستیک ها از روش های زیر استفاده می شود :

الف) استفاده از مواد اولیه رنگی (Precolor): یعنیگرانول های مواد اولیه به صورت رنگی تولید شده باشد و مورد استفاده قرار بگیرد.

ب) استفاده از رنگدانه های قوی به صورت مخلوط با مواد اولیه پلاستیک (Master Batch): به صورت قرص یا طاس

ج) استفاده از رنگ آمیزی با رنگ خشک (Dry Colorant): استفاده از بار های الکتریکی برای جذب پودر رنگ بر روی پلاستیک

د) استفاده از رنگ آمیزی با رنگ های مایع (Liquid Colorant): اسپری رنگ بر روی قطعات پس از ساخت

انواع رنگ های مورد استفاده برای رنگ آمیزی پلاستیک ها عبارتند از:

۲-۴-۱-۳-۱- رنگ‌های آلی حل شدنی (Dyes)

- در پلاستیک ها حل شده و با مولکول های آنها تشکیل اتصال شیمیایی می دهند.
- در تولید مواد اولیه پلاستیک رنگی به کار می روند.
- براق و شفاف هستند.
- در مقابل نور و حرارت ناپایدار هستند.

۲-۴-۱-۳-۲- رنگ‌های آلی غیر محلول (Pigments)

- مخلوط کردن آنها با پلاستیک پایه اندکی مشکل است.
- این رنگدانه ها تمایل به تشکیل کلوخها یا توده‌های متراکم دارند و موجب ایجاد لکه و خال در محصولات می گردند.
- شفافیت و درخشانی این رنگدانه ها کمتر از رنگهای آلی محلول است (مات تر هستند).

۲-۴-۱-۳-۳- رنگدانه های معدنی

- معمولاً اکسیدها و سولفات های مواد فلزی هستند.
- از میان رنگدانه های معدنی،ترکیبات فلزات سنگین اثرات مخرب زیست محیطی دارند. (ورود به سفره‌های آب زیرزمینی از طریق زباله‌های سوزانده شده)
- شفافیت و درخشانی این رنگ ها کمتر از دو گونه قبلی است.
- مقاومت بالایی در برابر نور و حرارت از خود نشان می دهند.

مثال : اکسید آهن (قرمز) – اکسید کبالت (آبی) – کربن (سیاه)

مثالهایی از مواد ممنوعه : سولفات سرب (سفید) – سولفات کادمیم (زرد)

۲-۴-۱-۳-۴- رنگ دانه های ویژه

- استفاده از قلزات برای ایجاد جلای فلزی مثل آب کرم، مس، طلا، آلومینم و برنج
- استفاده از پودر شیشه رنگی:مقاومت شیمیایی، حرارتی و نوری بالا
- استفاده از موادIncandenscence: با دریافت حرارت ایجاد نور می کنند (کاربرد: دماسنج طبی)
- استفاده از موادLuminescence: با دریافت انرژی به صورت نور یا الکتریسیته تولید نور می کنند و به دودسته Fluorescence و Phosphorescence تقسیم می شوند.
- موادفلوئورسانس تنها وقتی نوررانشر می کنند که منبع انرژی موجودباشد. (کاربرد: انواع شب نماها)
- مواد فلوئورسانس از سولفیدهای روی ، کلسیم و منیزیم ساخته می شوند.
- مواد فسفرسانس دارای پس درخشش (After Glow) می باشند بدین معنا که به مدت محدودی پس از حذف منبع تابش، این مواد به نشر نور ادامه می دهند.
- مواد فسفرسانس از سولفید کلسیم یا سولفید استرونسیم ساخته می شوند در صورت استفاده از مواد پرتوزا مانند ترکیبات مزوتوریوم و رادیم اثرات مخربی در بدن انسان ایجاد خواهند کرد.

۲-۴-۱-۴- عوامل اتصال دهنده (Coupling agents)

پیوند میان پلاستیک پایه و افزودنی ها، تقویت کننده ها و پرکننده ها را برقرار می کنند.

۲-۴-۱-۵- عوامل پخت

- موجب می شوند تا دوسر منومرها به یکدیگر متصل شود و تشکیل زنجیره های طویل پلیمری بدهند. همچنین این عوامل می توانند موجب تشکیل اتصالات عرضی (Cross Link) نیز میان زنجیره های پلیمری شوند.
- کاتالیست ها: موادشیمیایی هستندکه کمک می کنندتامنومرهابه یکدیگربپیوندند(راه اندازی واکنش ها).
- شتاب دهنده ها: سرعت واکنش ها را افزایش می دهند.
- به کاتالیست ها هاردنر (Hardener) یا سخت کننده نیز می گویند.

۲-۴-۱-۶- دیر سوز کننده ها (Flame Retardants)

- برخی این مواد در اثر گرما گاز تولید می کنند و از رسیدن شعله و اکسیژن به پلاستیک جلوگیری می کنند.
- برخی از این مواد هم خیلی زود تر از پلاستیک می سوزند و خاکستر آنها به عنوان مرزی میان پلاستیک و شعله ، از آتش گرفتن پلاستیک جلوگیری می کند (ترکیبات فسفری).
- برخی از دیر سوز کننده ها با آزاد کردن بخار آب سطح شعله را سرد می کنند (آلومینیم تری هیدرات ATH).
- دیر سوز کننده ها معمولاً بر پایه ترکیباتی از بروم، کلر، آنتیوان،بور و فسفر می باشند.

۲-۴-۱-۷- عوامل ایجاد کننده تخلخل (Foam Agents)

- عوامل تخلخل فیزیکیدر درجه حرارت خاصی تبخیرشده و گازهایی را از خود متصاعد می کنند که این گازها با ایجاد حفره های خالی در پلاستیک ایجاد تخلخل (فوم) می کنند.

- عوامل تخلخل شیمیایی بواسطه یک واکنش شیمیایی تولید گاز می کند.
- از جمله عوامل ایجاد تخلخل فیزیکی: کلرو فلوئورو کربن (CFC)← تخریب کننده لایه اوزون
- ماده جایگزین: هیدرو کلرو فلوئورو کربن (HCFC) ← با تاثیر کمتر بر لایه اوزون
- از جمله عوامل تخلخل شیمیایی: آزودی کربن آمید برای تولید فوم های HDPE، PP، ABS، PSوPVC

۲-۴-۱-۸- پایدارکننده های در مقابل حرارت

- از تجزیه و متلاشی شدن پلاستیک از طریق دریافت انرژی حرارتی ناشی از گرما، نور، برش مکانیکی و یا واکنش های اکسیداسیون جلوگیری می کنند.
- PVC پایداری گرمایی پایینی دارد و لازم است به آن پایدارکنندهٔ حرارتی اضافه شود.

۲-۴-۱-۹- بهبود دهنده های ضربه ای

با افزودن الاستومرهای چقرمه به پلاستیک می توان مقاومت آن را در برابر ضربه افزایش داد.

۲-۴-۱-۱۰- روان کننده ها

- هدف از استفاده از روان کننده ها:
  ۱) کاهش اصطکاک پلاستیک و قالب
  ۲) کمک به تشکیل امولسیون و مخلوط شدن مواد پلاستیک
  ۳) جلوگیری از چسبیدن پلاستیک به قالب
- معمولاً از موم، پارافین یا استئاریک اسید استفاده می‌شود.
- برخی از پلاستیک ها از جمله پلی اتیلن، پلی آمیدها و ... خواص خودروانکاری دارند و از آنها به عنوان روان کننده برای قالب‌گیری سایر پلاستیک ها استفاده می‌شود.

۲-۴-۱-۱۱- عوامل هسته بندی (Nucleating Agents)

- عوامل هسته بندی برای افزایش میزان بلورینگی (Crystallinity) به پلیمر افزوده می‌شوند.
- خواصی مانند دانسیته و شفافیت پلاستیک با این عوامل کنترل می‌شود.

۲-۴-۱-۱۲- نرم کننده ها (Plasticizers)

نرم کننده ها با کاهش درجه حرارت ذوب و ویسکوزیته پلاستیک، جریان پیدا کردن ماده را بهبود می بخشند و فرایند قالبگیری را تسهیل می کنند.

۲-۴-۱-۱۳- پایدارکننده های در برابر تابش فرابنفش (UV)

این افزودنی از تجزیه و شکست پلاستیک ها از طریق دریافت تابش فرابنفش خورشید جلوگیری می کنند. تابش فرابنفش خورشید موجب ایجاد ترک ها و شیارهای میکروسکوپی، سفید شدن، گچی شدن، تغییرات رنگ و یا افت خواص فیزیکی و شیمیایی پلاستیک ها می‌شود.

۲-۴-۱- تقویت کننده ها

تقویتکننده ها به منظور بهبود خواص (استحکام مکانیکی، مقاومت در برابر ضربه و سختی) به پلاستیک ها افزوده می‌شوند. این مواد در زمینه پلیمری حل نمی‌شوند. عوامل زیر خواص پلاستیک های تقویت شده را تحت تاثیر قرار می‌دهد:

۱- *پیوند میان زمینه پلیمری (یا ماتریس) و تقویت کننده:* بایستی به منظور انتقال تنش، چسبندگی عالی میان این دو برقرار باشد. البته بایستی از چسبیدن واحدهای تقویت کننده به یکدیگر جلوگیری شود.

۲- *خواص تقویت کننده:*وابسته به جنس تقویت کننده

۳- *اندازه و شکل کوچکترین واحد تقویت کننده:* در تسهیل فرایند تولید، توزیعیکنواخت یا جهتگیری تقویت کننده و چسبندگی به زمینه پلیمری موثر است.

۴- *نسبت وزن تقویت کنندهٔ مورد استفاده به وزن کل پلاستیک:* پلاستیکی با ۶۰٪ تقویت کننده و ۱۰٪ رزین پلیمری زمینه نسبت به پلاستیکی با ۱۰٪ تقویت کننده و ۶۰٪ رزین پلیمری زمینه، ۶ برابر قوی تر است. در اغلب پلاستیک ها درصد تقویت کننده کمتر از ۴۰٪ است.

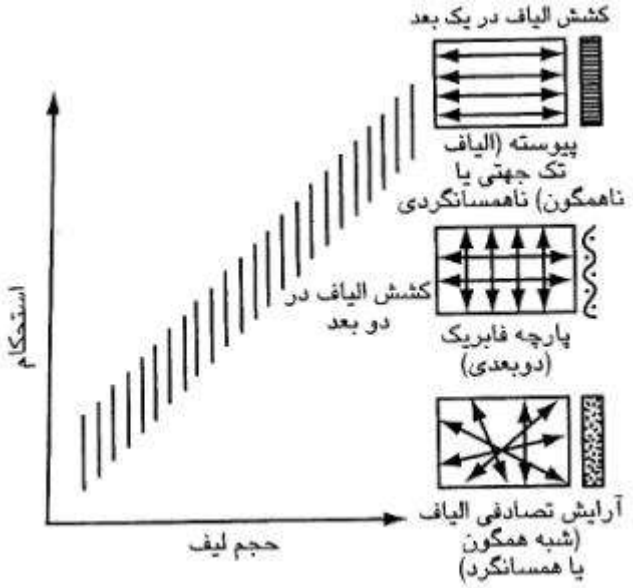
۵- *فرایند تولید:* درصورتی که در طی فرایند تولید تقویت کننده ها شکسته شوند و آسیب ببینند خواص پلاستیک افت خواهد کرد و درصورتی که در طی فرایند همراستایی آنها بهبود یابد استحکام در آن راستا افزایش خواهد یافت.

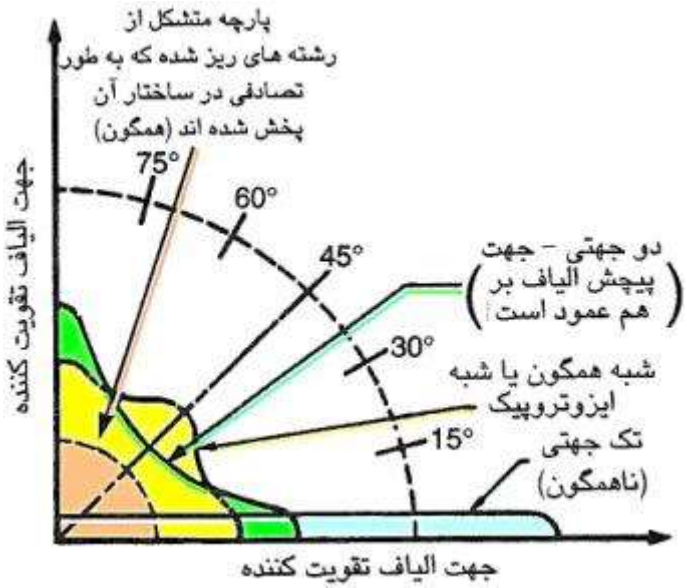
۶- *توزیع و آرایش تقویت‌کننده:* جهت‌گیری و همراستایی و نحوهٔ توزیع تقویت‌کننده‌ها، خواص را تحت تاثیر قرارمی‌دهد.

۲-۴-۱-۱۴- انواع تقویت کننده ها

تقویت کننده ها به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند:

۱- تقویت کننده های دو بعدی (2D) یا لامینا (لایه ای): به صورت پارچه یا ورقه هایی از مواد ساخته می‌شوند. در ساخت آنها از الیاف تقویت کنندهٔ یک بعدی استفاده می‌شود. آرایش های مختلف الیاف در این تقویت کننده ها به همراه مقایسهٔ استحکام آنها در شکل های زیر آمده است.





۲- تقویت کننده های یک بعدی (1D) یا فیبری (لیفی یا رشته‌ای): دارای انواع زیر می‌باشند:

۱) الیاف شیشه ۲) الیاف کربن ۳) الیاف پلیمری ۴) الیاف معدنی ۵) الیاف فلزی ۶) الیاف هیبریدی (تلفیقی)

۲-۴-۱- پرکننده ها[۷]

پرکننده ها موادی هستند که بمنظور کاهش قیمت و بهبود برخی خواص فیزیکی (تغییر ویسکوزیته، کاهش انقباض و ...) به پلاستیک ها افزوده می‌شوند. بعضی پرکننده ها مانند مواد معدنی به شکل الیاف کوتاه یا پولک مانند، خواص مکانیکی پلاستیک ها را بهبود می بخشند. از برخی دیگر از مواد دیگر موسوم به حجم دهنده ها برای تهیه حجم بزرگی از پلاستیک ها از مقدار کمی رزین استفاده می‌شود.

پرکننده ها به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند:

۱- پرکننده های در مقیاس نانو (Nano Scale Fillers)

۲- پرکننده های در مقیاس بزرگ (Large Scale Fillers)

پرکننده های در مقیاس نانو خواص بهتری از خود نشان می‌دهند ولی تولید آنها دشوارتر است. جدول زیر انواع پرکننده های مورد استفاده در پلاستیک ها را به همراه عملکرد آنها نشان می‌دهد.

[7]- Fillers

جدول ۷-۷ انواع اصلی پرکننده‌ها به همراه عملکرد و وظیفهٔ آنها

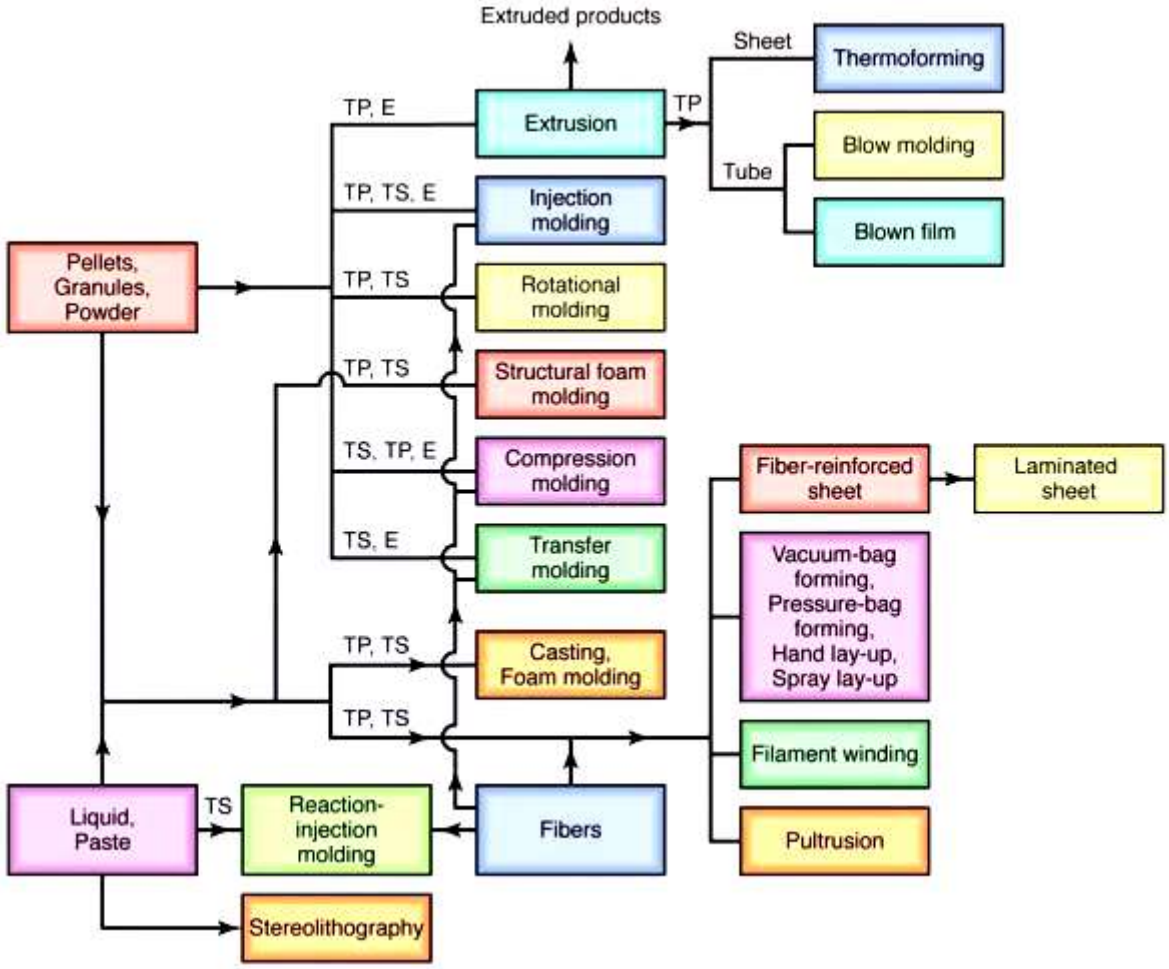
پرکننده ها	عملکرد پرکننده															
	توده	قابلیت فرآیند دهی	مقاومت حرارتی	مقاومت الکتریکی	استحکام و سفتی	مقاومت شیمیایی	سختی	تقویت کنندگی	قابلیت هدایت الکتریکی	قابلیت هدایت حرارتی	قابلیت لیزی - لغزندگی	مقاومت در برابر رطوبت	استحکام ضربه ای	استحکام کششی	پایداری ابعادی
آلی															
خاک اره چوب	x	x												x	x
خاک اره پوست صدف	x	x										x		x	x
سلولز نوع آلفا (تقاله چوب)	x		x	x										x	
الیاف کنف درخت صباره	x		x	x	x	x	x					x	x	x	x
کاغذ خیس شده	x		x										x		
پارچه خیس شده	x			x									x		
لیگنین	x	x													
کراتین (پر و مو)	x				x								x		
رایون خرد شده در اثر برش		x	x	x		x	x	x				x	x	x	x
نایلون خرد و ریز شده		x	x	x	x	x	x	x			x		x	x	x
اورلون خرد و ریز شده		x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x
زغال سنگ پودر شده	x		x		x	x						x			
معدنی															
میکا	x		x	x	x	x	x				x	x			x
کوارتز			x	x	x		x					x	x		
پوسته های شیشه ای		x	x	x	x	x	x	x			x	x	x		
الیاف شیشه خرد یا ریز شده			x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	
الیاف شیشه آسیاب شده	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
خاک دیاتومه ای	x	x	x	x	x		x						x		x
خاک رس	x	x	x	x	x		x						x		x
کلسیم سیلیکات		x	x		x		x					x	x		x
کلسیم کربنات		x	x		x		x								
آلومینا تری هیدرات		x		x	x		x					x			
پودر آلومینیم					x		x	x	x	x			x		
پودر برنز					x		x	x	x	x			x		
تالک	x	x	x	x	x	x	x			x		x			x

جدول انتخاب مواد با توجه به کاربرد (پیشنهادی)

GENERAL RECOMMENDATIONS FOR PLASTIC PRODUCTS

Design Requirement	Applications	Plastics
Mechanical strength	Gears, cams, rollers, valves, fan blades, impellers, pistons	Acetal, nylon, phenolic, polycarbonate
Functional and decorative	Handles, knobs, camera and battery cases, trim moldings, pipe fittings	ABS, acrylic, cellulosic, phenolic, polyethylene, polypropylene, polystyrene, polyvinyl chloride
Housings and hollow shapes	Power tools, pumps, housings, sport helmets, telephone cases	ABS, cellulosic, phenolic, polycarbonate, polyethylene, polypropylene, polystyrene
Functional and transparent	Lenses, goggles, safety glazing, signs, food-processing equipment, laboratory hardware	Acrylic, polycarbonate, polystyrene, polysulfone
Wear resistance	Gears, wear strips and liners, bearings, bushings, roller-skate wheels	Acetal, nylon, phenolic, polyimide, polyurethane, ultrahigh molecular weight polyethylene

فصل سوم: فرآیندهای قالب‌گیری پلاستیک



TP=Thermoplastics; TS=Thermoset; E=Elastomer

۳-۱- فرآیند تزریق پلاستیک

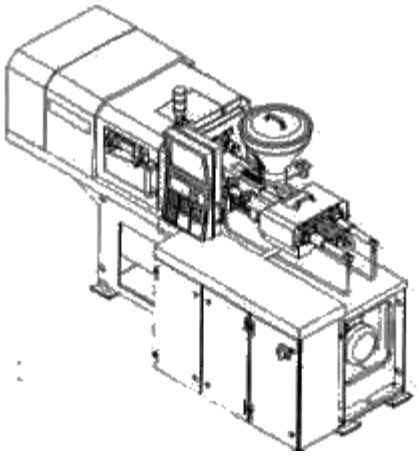
۳-۱-۱- اصول قالبگیری تزریق پلاستیک

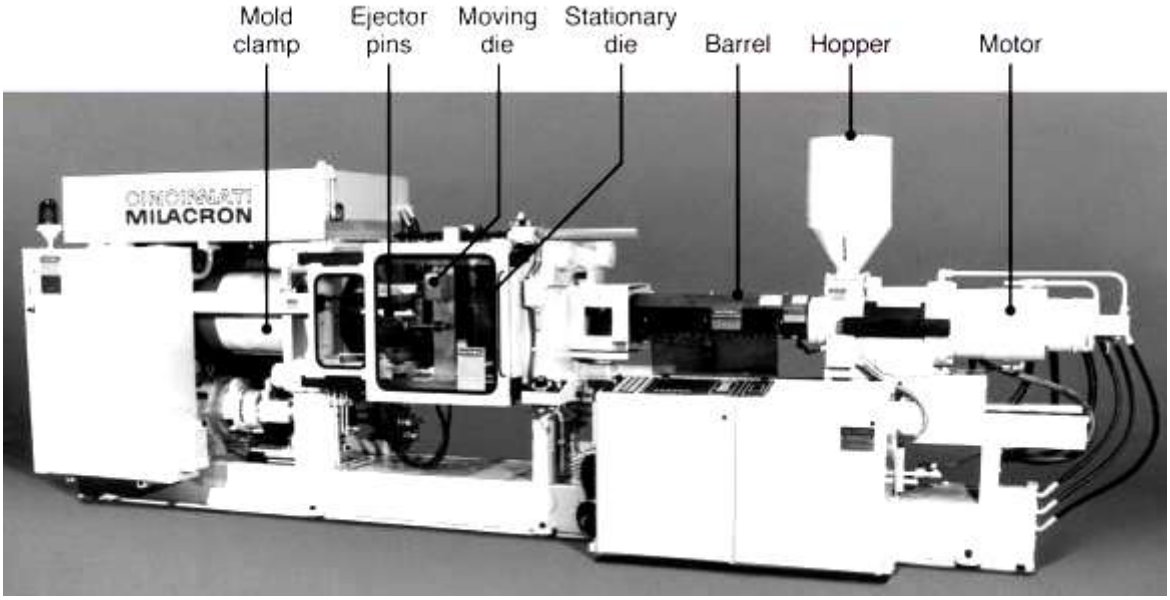
این فرایند را می توان برای قالبگیری کلیه ترموپلاستیک ها به جزء تفلون (PTFE)، پلی آمید، بعضی پلی‌استرهای آروماتیک و برخی موارد خاص دیگر به کار برد. برای قالب‌گیری تزریقی ترموست ها باید از ماشین‌های قالب‌گیری تزریقی ویژه این مواد استفاده کرد. از میان ترموست ها فنولیک، ملامین، اپوکسی، سیلیکون، پلی‌استر و الاستومرها را می توان بدین ترتیب تولید کرد.

خلاصه فرایند قالبگیری تزریقی بدین صورت است که ابتدا گرمای کافی به دانه های پلاستیکی اعمال می‌شود تا بتوانند در قالب و راهگاه های آن جاری شوند. سپس این ماده به درون یک قالب بسته با فشار تزریق می‌شود و فضای حفره قالب را پر کرده و فرم مورد نظر را به خود بگیرد. پس از سرد شدن ماده و انجماد کامل آن، قالب باز شده و پین های بیرون انداز، قطعه کار را از قالب خارج می‌کند.

۳-۱-۲- ماشین‌های تزریق پلاستیک

عموماً در ماشین‌های تزریق از یک میله مارپیچ رفت و برگشتی (Reciprocating Screw) استفاده می‌شود که به ماردون معروف است. دانه های جامد پلاستیک توسط ماردون در یک پوسته استوانه ای به جلو رانده می‌شوند. اطراف پوسته استوانه ای با هیترهای گرم کننده پوشیده شده است و دانه های پلاستیک با عبور از پوسته ذوب می‌شوند. در ادامهٔ مسیر با تنگ تر شدن مجرای مارپیچ، مواد پلاستیکی در اثر اصطکاک و برش مکانیکی گرم تر می‌شوند و مخلوط کاملاً یکدستی بدست می‌آید. وقتی پلاستیک به انتهای مارپیچ رسید کاملاً ذوب شده است و در محفظهٔ انتهای ماردون جمع می‌شود. هنگام تزریق ماردون مانند یک پیستون جلو آمده و مواد مذاب را با فشار به داخل قالب هدایت می‌کند.





نمونه هایی از ماشین تزریق

ماشین‌های تزریق به صورت افقی و عمودی ساخته می‌شوند که نشان دهنده جهت باز و بسته شدن قالب می‌باشد. در ماشین‌های تزریق افقی، پس از باز شدن قالب، قطعه کار به پایین می افتد و از طریق یک کانال یا نوار نقاله از ماشین خارج می‌شود. در ماشین‌های تزریق عمودی این اتفاق نمی افتد. معمولا از ماشین‌های تزریق عمودی برای کاشت قطعات فلزی در ماده پلاستیکی (تولید قطعات ترکیبی پلاستیکی) استفاده می‌شود. برای افزایش تعداد تولید در ماشین‌های تزریق، عمودی، نیمه پایین قالب را به صورت دوتایی یا چندتایی می سازند که بر روی میز متحرک ماشین نصب می‌شود. قالب های پایینی به صورت رفت و برگشتی یا به صورت گردشی جابه جا می‌شوند بدین ترتیب وقتی یک قالب در حال تزریق مواد پلاستیکی است می توان قالب دیگر را با قطعات فلزی (که قرار است در ماده پلاستیکی کاشته شوند) شارژ نمود. میز قالب های چند ایستگاهی غالبا به صورت گردشی حرکت می‌کند. ماشین‌های تزریق عمودی فضای کمتری نسبت به ماشین‌های افقی اشغال می کنند و با توجه به چند ایستگاه بودن قالب آن ها، هزینه استهلاک قالب در آن ها پایین تر است.

دو نمونه ماشین تزریق عمودی

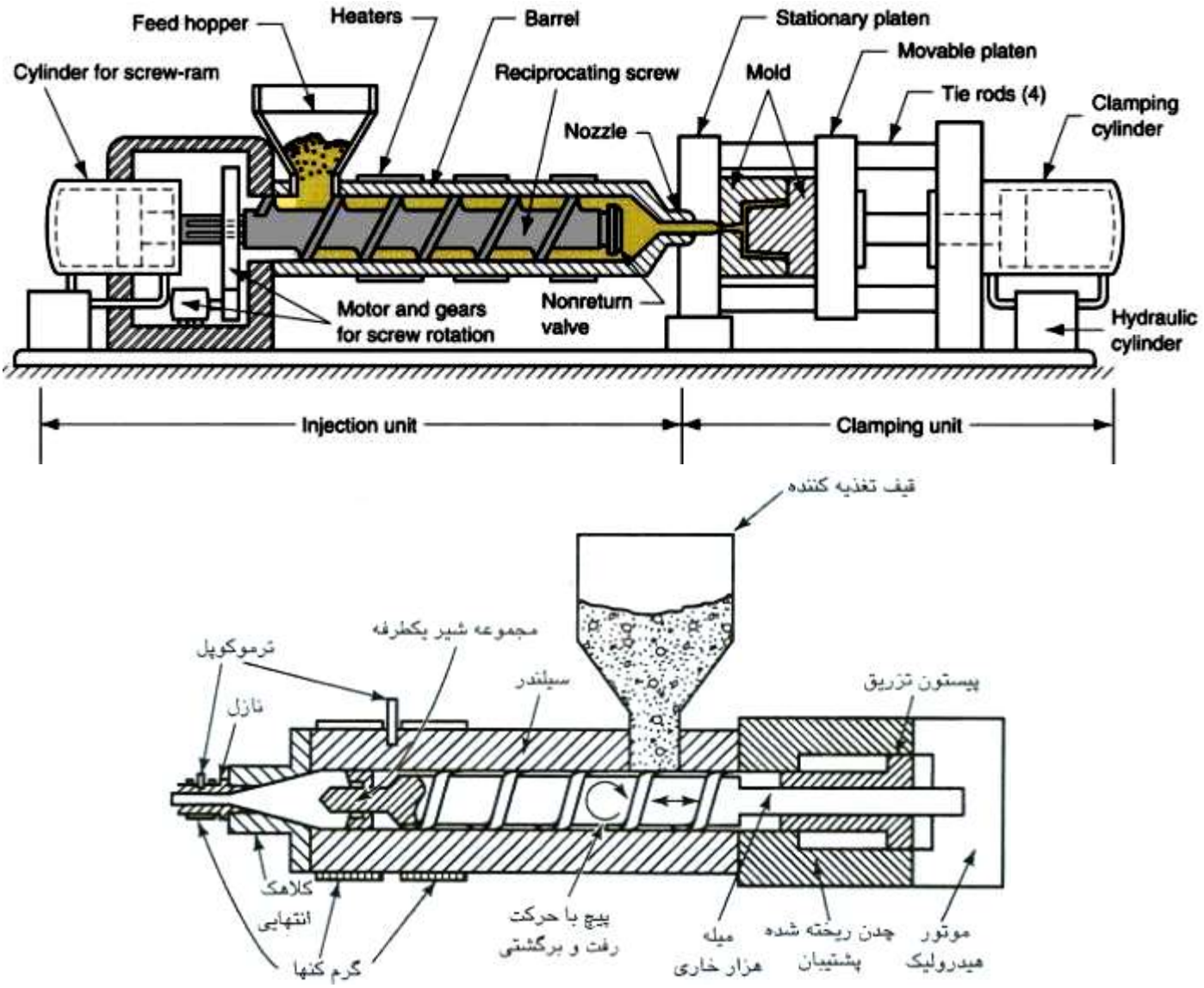
در ماشین‌های تزریق پلاستیک دو قسمت مهم وجود دارد:

۱) واحد تزریق (Injection unit)

۲) واحد قفل کننده قالب (Clamping unit)

۳-۱-۲-۱- واحد تزریق

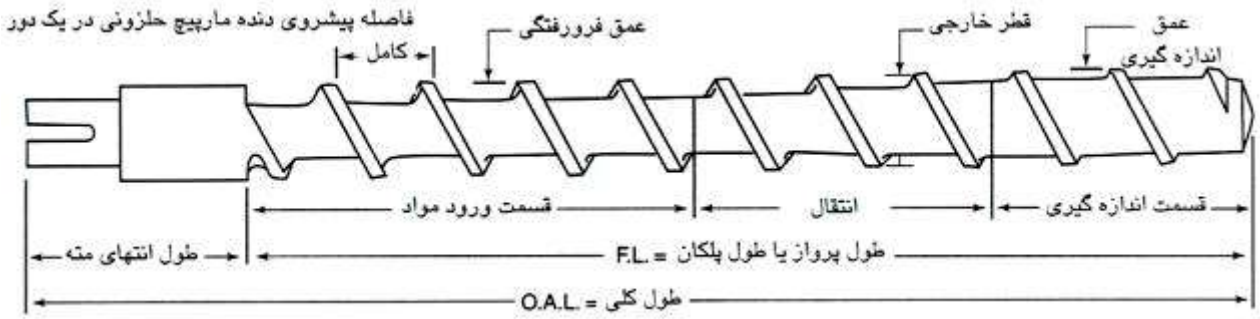
وظیفه این واحد، ذوب کردن پلاستیک و تزریق آن به داخل قالب است. در این واحد قطعاتی از قبیل قیف تغذیه، پوسته مارپیچ، درپوش انتهایی پوسته، نازل، مارپیچ، شیریکطرفه، نوارهای گرم کننده، موتور گردش مارپیچ و سیلندر هیدرولیکی برای حرکت رفت و برگشتی مارپیچ تعبیه شده است. سیستم کنترل ماشین می تواند حرارت اعمالی به پلاستیک، زمان گردش و حرکات رفت و برگشتی مارپیچ را کنترل کند. در شکل یک تصویر شماتیک از واحد تزریق نشان داده شده است.



طرح ساده شده ای از یک واحد تزریق پلاستیک

عملکرد میله مارپیچ، تعیین کننده سرعت و بازدهی ذوب کردن دانه های پلاستیکی می‌باشد. در شکل زیر یک میله مارپیچ کوچک رسم شده است. همان طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، عمق شیارهای مارپیچ در قسمت ابتدایی (محل ورود دانه های پلاستیکی از قیف به داخل پوسته) بیشتر از قسمت انتهایی مارپیچ (طرف نازل) است.

هر مارپیچ از سه قسمت اصلی تشکیل می‌شود: قسمت ورود پلاستیکی، قسمت انتقال و قسمت تعیین اندازه. قسمت ورودی (Feed zone) دارای شیارهای مارپیچ عمیق است و تقریبا نصف طول مارپیچ را به خود اختصاص می‌دهد. طول قسمت انتقال (Transition zone) تقریبا یک چهارم طول مارپیچ است. در این قسمت عمق شیارهای مارپیچ کم شده و در نتیجه، دانه های پلاستیک تحت فشار قرار گرفته و با اعمال هم زمان حرارت از طرف پوسته، قسمت اعظم پلاستیک در این قسمت به حالت مذاب درمی‌آید.

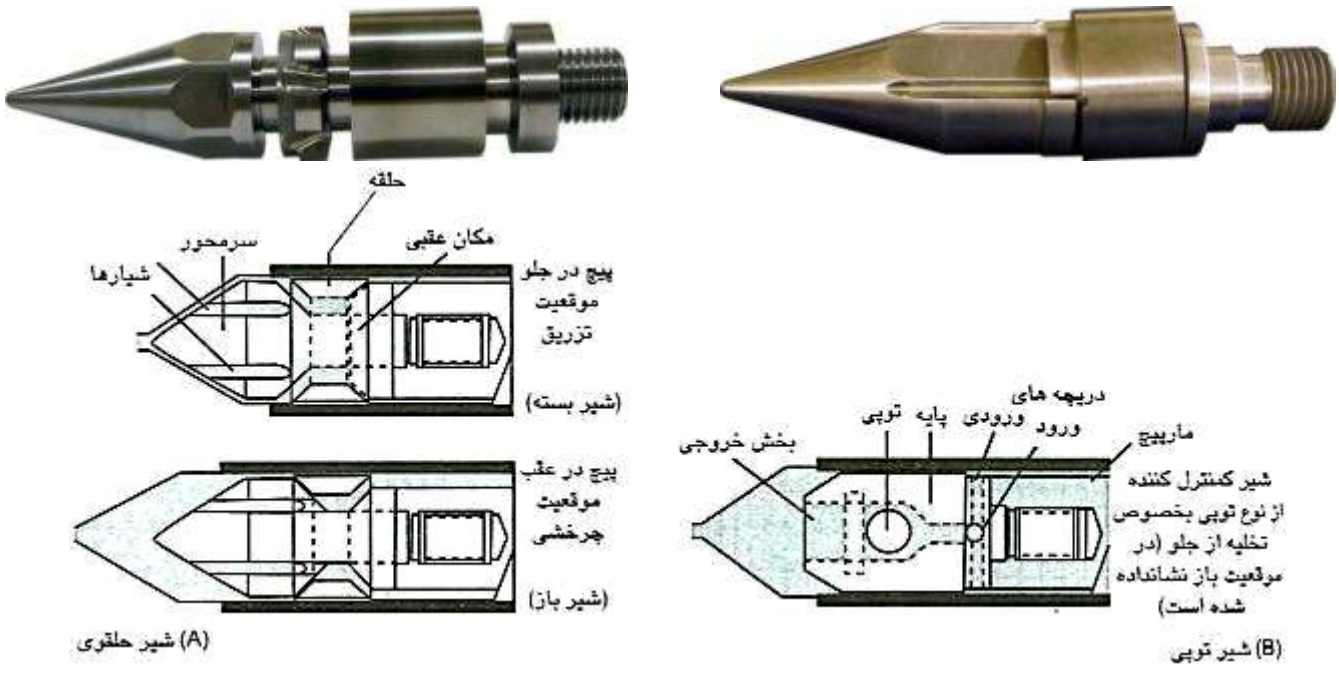


پیچ ماردون دستگاه تزریق پلاستیک

پلاستیک ذوب شده به همراه رنگدانه ها و دیگر مواد افزودنی در قسمت تعیین اندازه (Metering zone) به خوبی با هم مخلوط می‌شوند. عمق شیار مارپیچ در این قسمت خیلی کم است. قبل از ذوب شدن کامل پلاستیک، اختلاط آن کامل نمی‌شود و بنابراین قسمت آخر مارپیچ وظیفه مهمی برعهده دارد. در بعضی میله های مارپیچ، شیارهای تعیین اندازه به فرم خاصی ساخته می‌شوند تا عمل اختلاط پلاستیک بهبود یابد. با عبور پلاستیک از این قسمت، باید پلاستیک مذاب به دمای مطلوب برای تزریق رسیده باشد.

دو ویژگی مهم میله مارپیچ تزریق پلاستیک، نسبت طول به قطر آن (L/D) و نسبت تراکم یا فشار آن است. نسبت طول به قطر عبارت است از طول قسمت مارپیچ میله تقسیم بر قطر خارجی آن، میله های مارپیچ معمولا نسبت طول به قطر ۱۸:۱ تا ۲۴:۱ دارند که نسبت ۲۰:۱ رایج تر است. نسبت تراکم عبارت است از عمق شیار مارپیچ در قسمت ورودی تقسیم بر عمق شیار در قسمت تعیین اندازه. نسبت تراکم در این مارپیچ ها می تواند به ۱۵:۱ تا ۴۵:۱ برسد، ولی معمولا این نسبت ۲,۵:۱ تا ۳:۱ انتخاب می‌شود.

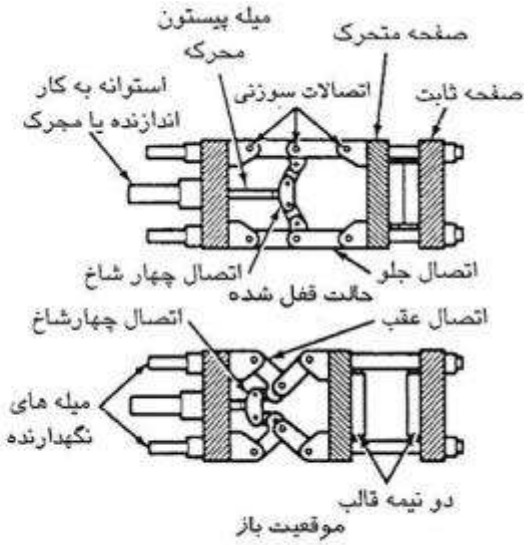
مجموعه شیر یک طرفه (Non-return valve assembly) به دو فرم ساخته می‌شود. وظیفه این مجموعه جلوگیری از برگشت پلاستیک ذوب شده به هنگام تزریق است. اگر مجموعه شیر یک طرفه به درستی عمل نکند، فشار ایجاد شده بر روی پلاستیک ممکن است به حد کافی نرسد و پلاستیک مذاب نتواند همه قسمت های قالب را پر کند.



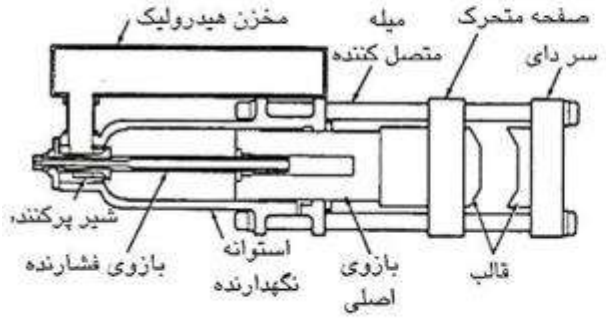
دو نوع شیر یکطرفه مورد استفاده برای پیشگیری از جریان برگشتی پلاستیک مذاب

۳-۱-۲-۲- واحد قفل کننده قالب

وظیفه این واحد باز کردن و بستن قالب و هم چنین بیرون انداختن (Ejecting) قطعه کار از قالب است. دو روش رایج برای تامین نیروی قفل کننده قالب، استفاده از نیروی هیدرولیک به صورت مستقیم و یا استفاده از یک مکانیزم قفل کننده زانویی (Toggle) با محرکه هیدرولیکی می‌باشد. در شکل زیر (سمت راست) یک مکانیزم زانویی در حالت باز و بسته نشان داده شده است. در شکل زیر (سمت چپ) نیز نمونه ای از یک سیستم قفل کننده هیدرولیکی رسم شده است.



طرح گیره اتصال دهنده در دو موقعیت باز و بسته



طرح محرکه خطی یک گیره نگهدارنده قالب

واحد قفل کننده در ماشین‌های تزریقی در ابعاد و قدرت های مختلف ساخته می‌شوند. قفل های زانویی به صورت مکانیکی نیرو را به تقویت می کنند و بنابراین احتیاج به نیروی محرکه کمتری دارند. متقابلا در واحدهای قفل کننده صرفا هیدرولیکی، مکانیزم زانویی حذف شده ولی در عوض باید از سیلندرهای هیدرولیکی قوی تر استفاده شود. در ماشین‌های تزریقی خیلی بزرگ از ترکیب سیستم هیدرولیکی و مکانیزم های مکانیکی خاصی استفاده می‌گردد.

برای تامین فشار هیدرولیک لازم است ماشین تزریق به یک مخزن روغن هیدرولیک، پمپ و شیرآلات کنترل هیدرولیک نیز مجهز باشد. در ماشین‌های تزریقی برای جلوگیری از تماس اپراتور با پوسته داغ (که مارپیچ در آن قرار دارد) و اتصالات الکتریکی واقع بر روی آن، روی پوسته را به حفاظ های مناسب می پوشانند. هم چنین پیرامون نازل را نیز می پوشانند، زیرا ممکن است به هنگام تزریق پلاستیک، مقداری از آن به اطراف بپاشد در اطراف واحد قفل کننده نیز حفاظ های خاصی قرار داده می‌شود. فرآیند تزریق پلاستیک به طور بالقوه می تواند خطرناک باشد، زیرا در آن ماده پلاستیکی مذاب و فشارهای هیدرولیکی زیادی وجود دارد. برای محافظت از اپراتور در برابر خطرات، سیستم های حفاظتی مختلفی بر روی ماشین تعبیه می‌شود، به طوری که دسترسی اپراتور به محفظه قالب ودیگر قسمت های خطرناک ماشین در وضعیت ایمن امکان پذیر باشد.

۳-۱-۳- ایمنی در قالبگیری تزریقی

در ساخت ماشین آلات مختلف باید از ادوات و سیستم هایی برای محافظت از اپراتور و هم چنین محافظت از ماشین از قبیل درب ها، حفاظ ها و سیستم ایمنی بسته شدن قالب استفاده نمود. طبق قانون، برای ایجاد ایمنی کامل در بسته شدن قالب

های تزریقی، در این ماشین‌ها باید از سه سیستم مختلف استفاده کرد: بازوی سقوط مکانیکی (Mechanical drop bar)، اتصال الکتریکی (Electrical inter lack) و اتصال هیدرولیکی (Hydraulic inter lock) .

۳-۱-۳-۱- بازوی سقوطی مکانیکی

هدف از به کارگیری این مکانیزم، جلوگیری از بسته شدن قالب، به هنگامی که دست اپراتور در فضای بین دو قالب قرار دارد، می‌باشد. اگر سیستم های ایمنی و هیدرولیکی ماشین به درستی عمل نکنند، ممکن است در حالی که دست های اپراتور بین دو قالب قرار دارد، قالب شروع به بسته شدن کند و بازوی سقوطی باید در چنین مواقعی عمل کرده و بسته شدن قالب را متوقف نماید. همه کسانی که با ماشین‌های تزریق پلاستیک کار می کنند باید نحوه عملکرد و تنظیم بازوی سقوطی را بدانند.

۳-۱-۳-۲- اتصال الکتریکی

با استفاده از این سیستم، در صورتی که درب حفاظ باز باشد و به عللی قالب شروع به بسته شدن نماید، مدار الکتریکی محرکه برای بسته شدن قالب قطع خواهد شد. در ماشین‌هایی که دارای این مکانیزم ایمنی هستند، یک بازوی کوچک به درب حفاظ وصل شده است. وقتی درب بسته می‌شود، این بازوی کوچک یک کلید حدی (Limit switch) را تحریک می‌کند و قالب می تواند بسته شود. این سیستم حفاظتی، زمانی که کلید حدی به درستی عمل نکند و یا بازوی کوچک به درستی تنظیم نشده باشد، ممکن است به خوبی عمل نکند.

۳-۱-۳-۳- اتصال هیدرولیکی

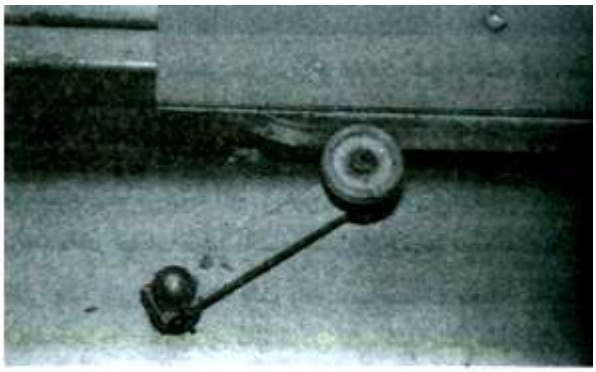
این سیستم ایمنی نیز باید به گونه ای عمل کند که به هنگام باز بودن درب حفاظ از بسته شدن قالب جلوگیری کند. این سیستم از یک سوئیچ هیدرولیکی و یک بازوی تحریک تشکیل می‌شود.

در شکل زیر (سمت راست بالا) یک بازوی تحریک نشان داده شده است که به هنگام باز شدن درب حفاظ، رو به بالا حرکت کرده و به هنگام بسته شدن کامل درب به طرف پایین می‌آید. نوع دیگری از این سیستم در شکل زیر (سمت چپ بالا) نشان داده شده است. در این طرح، فقط هنگامی که درب حفاظ کاملا بسته شد، روغن هیدرولیک اجازه خواهد داشت به داخل سیلندر مخصوص بستن قالب وارد شود.

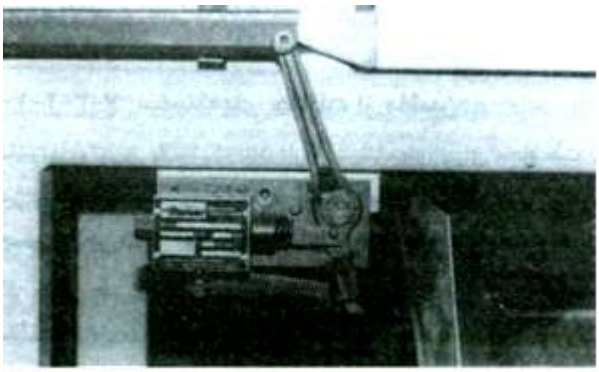
در مقایسه با سیستم های الکتریکی، که یا همیشه درست کار می‌کند یا اصلا کار نمی کنند، سیستم های ایمنی هیدرولیکی ممکن است در صورتی که به درستی تنظیم نشده باشند، باز هم تا اندازه ای کار کنند. برای کنترل درستی عملکرد سیستم اتصال هیدرولیکی، ابتدا درب حفاظ را کاملا باز کنید و سپس کلید حدی الکتریکی را به صورت دستی تحریک کنید و بدین وسیله سعی کنید قالب را ببندید. قالب نباید در این وضعیت بسته شود.

برای کنترل عملکرد سیستم ایمنی هیدرولیکی ممکن است لازم باشد بازوی سقوطی را به صورت دستی در بالا نگهدارید. اگر سیستم هیدرولیکی ایراد داشته باشد، قالب شروع بسته شدن می‌کند و به مانع مکانیکی برخورد خواهد کرد. توصیه می‌شود در این حالت برای متوقف کردن حرکت قالب از بازوی سقوطی استفاده نکنید، زیرا ممکن است قالب منحرف شده و بر روی میله های راهنما گیر کند. برای جلوگیری از این پدیده در بعضی ماشین‌های تزریق از دو مکانیزم بازوی سقوطی استفاده می‌شود.

اگر بازوی محرک سیستم ایمنی هیدرولیکی به خوبی تنظیم نشده باشد، سیلندر محرکه بستن قالب ممکن است کمی روغن دریافت کرده و به آهستگی قالب را ببندد اگر چنین پدیده ای مشاهده شود، باید بازوی محرک را تنظیم نمود تا قالب شروع به بسته شدن نکند.



این بازو از جریان روغن هیدرولیک به درون استوانه نقل‌کننده قالب جلوگیری می‌کند، یا به آن اجازه ورود می‌دهد



این بازوی ایمنی هیدرولیک مستقیما به کلید کنترل‌کننده جریان روغن هیدرولیک متصل شده است

۳-۱-۳-۴- حفاظ پاشش

به هنگام پاک کردن پوسته و مارپیچ تزریق (Purging) ممکن است پلاستیک داغ به اطراف و بر روی پرسنل پاشیده شود. برای جلوگیری از این اتفاق ماشین‌های تزریق به حفاظ جلوگیری از پاشش مجهز می‌شوند. این حفاظ ها مانند یک جعبه فنری هستند که پیرامون ناحیه نازل تزریق پلاستیک را می پوشانند. این حفاظ با استفاده از یک لولا به نیمه ثابت قالب وصل می‌شود و می توان آن را حول لولا چرخانده و به طرف بالا منحرف کرد. یک کلید جیوه ای (Mercury switch) بر روی این حفاظ نصب می‌شود. وقتی این حفاظ در بالا قرار گرفته، کلید جیوه ای از تزریق پلاستیک داغ از نازل جلوگیری می‌کند. بعضی از انواع این حفاظ ها به پهلو باز می‌شوند و بر روی آن ها کلیدهای مخصوصی نصب می‌شود که به هنگام باز بودن حفاظ از تزریق پلاستیک جلوگیری کند.

۳-۱-۳-۵- سیستم حفاظتی درب عقبی ماشین

درب جلوی ماشین ممکن است در هر بار تزریق توسط اپراتور باز و بسته شود و به همین دلیل این درب همان طور که گفته شد دارای سه سیستم حفاظتی می‌باشد تا ایمنی اپراتور تضمین گردد. ولی درب عقب ماشین‌های تزریق چنین سیستم های حفاظتی ندارد. بر روی بسیاری ماشین‌های تزریق یک اتصال الکتریکی در کنار درب عقب نصب می‌شود که در صورت باز بودن آن، ماشین خاموش می‌گردد. برای باز کردن درب عقب، باید این اتصال قطع شود وقتی این اتصال قطع باشد نمی توان ماشین را روشن نمود.

۳-۱-۳-۶- ایمنی در عملیات قالبگیری

همان طور که گفته شد در صورتی که حفاظ ها و درب های ماشین به درستی کار کنند، ایمنی اپراتور تضمین می‌شود، ولی موارد ایمنی دیگری نیز در ماشین‌های تزریق پلاستیک به هنگام عملیات تولیدی مطرح است. پلاستیک های موجود در دستگاه ممکن است در بعضی قسمت ها تجزیه شده و باعث افزایش ناخواسته فشار در پوسته مارپیچ و نازل شود. در چنین

شرایطی ممکن است پیچ های درپوش انتهایی پوسته بریده شده و درپوش از پوسته جدا شود. گاهی اوقات نیز امکان دارد پوسته به دلیل فشارهای داخلی بترکد.

برای جلوگیری از افزایش فشار داخل پوسته، باید هنگامی که برای چند دقیقه، سیکل عملیاتی متوقف است، کشویی ماشین را به عقب ببرید. وقتی که نازل با قالب در تماس نباشد، پلاستیک اضافی می تواند به آرامی از آن خارج شده و از افزایش بیش از حد فشار پوسته جلوگیری می‌شود.

قسمت دهانه ورودی دانه های پلاستیک از قیف به داخل پوسته باید به اندازه کافی خنک باشد تا پلاستیک در این ناحیه ذوب نشود. اگر این قسمت نتواند به خوبی خنک شود و یا المنتهای گرم کننده عقبی پوسته، بیش از حد گرم شوند، ممکن است پلاستیک در ابتدای قسمت ورودی و یا حتی در قسمت پایین قیف ذوب شود و این پدیده می تواند خیلی خطرناک باشد.

اگر پلاستیک در قسمت پایین قیف ذوب شود، دانه ها به هم می چسبند و یک مانع در برابر ریزش آزادانه دانه های بالا دست خود ایجاد می کنند. گاهی اوقات ممکن است اپراتور بخواهد با یک میله، توده پلاستیک چسبیده به هم در پایین قیف را بشکند. ولی احتمال دارد پلاستیک مذاب زیر این توده به طرف بالا بپاشد و وضعیت بسیار خطرناکی به وجود آورد. گزارشات نشان می‌دهد تاکنون چندین اپراتور ماشین‌های تزریق پلاستیک در اثر پدیده به شدت مجروح شده و بعضی از آن ها کشته شده اند.

۳-۱-۳-۷- سیستم های حفاظت از ماشین

ماشین‌های تزریق پلاستیک باید دارای سیستم هایی برای محافظت از خودشان نیز می‌باشند. در اغلب این ماشین‌ها، اتصال میله مارپیچ به موتور محرکه آن به واسطه یک پین انجام می‌شود. اگر به دلیل سرد بودن پوسته و یا وجود یک جسم خارجی درون آن، مارپیچ نتواند به راحتی بچرخد یا به جلو حرکت کند، قبل از بروز صدمه در قطعات اصلی ماشین، همین پین رابط باید بشکند.

اگر به هر علتی یک جسم خارجی بین دو نیمهٔ قالب قرار گیرد، با استفاده از ادوات حفاظتی فشار پایین می تواند قالب را از بروز صدمات محافظت کرد. این سیستم بدین صورت عمل می‌کند تا وقتی قالب با یک نیروی کم کاملا بسته نشده باشد، نیروی کامل برای قفل کردن قالب اعمال نمی‌شود. برای طراحی چنین سیستمی می توان یک کلید حدی را بر روی قالب به گونه ای نصب کرد که به هنگام بسته شدن کامل قالب، سیگنالی به واحد کنترل ماشین ارسال کند. موقعیت این کلید حدی باید با دقت تنظیم شود. بعضی از اپراتورها از تکه های مقوا برای این کار استفاده می کنند.

وجود یک یا دو لایه مقوا در بین قالب باید باعث عدم تحریک کلید حدی و جلوگیری از اعمال فشار برای قفل شدن قالب گردد. با برداشتن لایه های مقوا باید قالب پس از بسته شدن به خوبی قفل شود. هنگامی که قرار است در قطعه کار پلاستیکی تزریق شده، یک قطعه فلزی نیز کاشته شده باشد، وجود این سیستم حفاظتی می تواند خیلی موثر عمل می‌کند. وقتی یک اپراتور یا یک روبوت، قطعه فلزی را داخل قالب قرار می‌دهد، ممکن است این قطعه از جای خود خارج شود. بدون وجود این سیستم حفاظتی با بسته شدن قالب ممکن است صدمات زیادی به قالب وارد گردد.

۳-۱-۴- مشخصات ماشین‌های تزریق

ماشین‌های قالب‌گیری تزریقی را می توان با ویژگی های متعددی تشریح کرد، ولی دو ویژگی مهم برای هر ماشین نشان دهنده قابلیت های آن می‌باشد، عبارتند از ظرفیت تزریق (Shot size) و تناژ قفل کردن قالب (Clamping tonnage).

۳-۱-۴-۱- ظرفیت تزریق

ظرفیت تزریق یا اندازه تزریق مهمترین مشخصه تزریق پلاستیک است و عبارت است از حداکثر مقدار مواد پلاستیکی است که ماشین می تواند در هر سیکل به داخل قالب تزریق کند. با توجه به این که چگالی پلاستیک های مختلف با هم تفاوت دارد باید یک استاندارد برای مقایسه تعریف شود. پلی استایرین به عنوان پلاستیک استاندارد برای این ارزیابی پذیرفته شده است. ظرفیت تزریق در محدوده 20gr – 20kg قرار دارد. ماشین‌های تزریق خیلی کوچک آزمایشگاهی ممکن است ظرفیتی معادل حداکثر 20 gr [0.70 oz] داشته باشند. بعضی ماشین‌های تزریق بزرگ نیز می توانند در هر سیکل بیش از 9 kg [19.8 lbs] پلاستیک تزریق کنند. (انس (oz) = 29 gr)

۳-۱-۴-۲- تناژ قفل کردن قالب

تناژ قفل کردن، حداکثر نیرویی است که ماشین می تواند به قالب وارد کند از نظر تناژ می توان ماشین‌های تزریق را به سه گروه کوچک، متوسط و بزرگ دسته بندیی کرد. در ماشین‌های کوچک تناژ، قفل کردن حداکثر 99 tons است. تناژ ماشین‌های متوسط 100-2000 tons و تناژ ماشین‌های تزریق بزرگ بالاتر از 2000 tons است. ماشین‌های تزریق بزرگ که به صورت استاندارد ساخته می‌شوند، ممکن است تناژی معادل 10’000 tons نیز داشته باشند. پرس های قوی تر را باید طبق سفارش مشتری طراحی و ساخته شوند.

واضح است که میزان تقاضا برای هر یک از سه گروه متفاوت است. طی آماری که در سال ۱۹۹۰ در آمریکا در این مورد گرفته شده، تعداد تقاضا برای ماشین‌های تزریق کوچک در یک سال کمتر از ۴۰۰ دستگاه، برای ماشین‌های متوسط در حدود ۱۲۰۰ دستگاه و برای ماشین‌های بزرگ حدود ۵۰ دستگاه بوده است. معلوم است که ماشین‌های متوسط بیشتر مورد توجه صنعتگران بوده است. در این گروه، ماشین‌های ۳۰۰ تنی بیشتر مورد تقاضا بوده اند.

برای برآورد تناژ قفل کردن قالب می توان به عنوان یک قاعده ساده گفت که برای هر سانتی متر مربع از سطح حفره قالب باید 3.5 kN [786 ibs] نیرو برای قفل کردن قالب اعمال کرد. بنابراین یک ماشین با تناژ 3 MN [337 tons] باید بتواند قطعه ای از جنس پلی استایرین با ابعاد ۲۵۰×۳۲۵mm [9.8×12.8 in] را تولید نماید، زیرا سطح این قطعه برابر است با 812.5 cm2 [126 in2] طبق قاعده گفته شده حداکثر سطح قطعه کار را می توان چنین برآورد کرد:

$$3000\ (KN) / 3.5\ (KN/cm^2) = 857\ cm^2$$

۳-۱-۵- ماشین‌های تزریق الکتریکی و هیبریدی

بسیاری از تولید کنندگان ماشین‌های قالب تزریقی معتقدند که در آینده سیستم محرکه این ماشین‌ها از هیدرولیکی به الکتریکی محض تغییر خواهد کرد. ماشین‌های تزریقی تمام الکتریکی انرژی کمتری نسبت به ماشین‌های هیدرولیکی مصرف می کنند. دلیل اصلی این ادعا این است که ماشین‌های الکتریکی فقط وقتی که حرکتی در ماشین انجام می‌شود، انرژی

مصرف می کنند. ولی در ماشین‌های هیدرولیکی، یک انرژی ثابت برای به گردش درآوردن پمپ باید مصرف کنند. به علاوه ماشین‌های الکتریکی سیکل قالب‌گیری دقیق تری دارند.

تولید کنندگان ماشین‌های تزریقی تمام الکتریکی اعتقاد دارند تا چند سال آینده، ماشین‌های تزریقی کوچک و متوسط تمام الکتریکی، اغلب سهم بازار مصرف را به خود اختصاص دهند. هر چند ماشین‌های تزریق تمام الکتریکی مزایای قابل توجهی دارند، ولی قیمت آن ها گران تر است. قیمت ماشین‌های تمام الکتریکی کوچک تقریبا ۱۵درصد و ماشین‌های متوسط و بزرگ حدود ۳۰ درصد گران تر از ماشین‌های سنتی هستند.

یک دلیل دیگر برای تغییر طرح این ماشین‌ها از هیدرولیکی، وجود قوانین سخت در رابطه با دفع بهداشتی سیالات هیدرولیک در محیط زیست است. در سال ۲۰۰۲، اغلب ماشین‌های تزریقی ساخته شده در ژاپن دارای محرکه تمام الکتریکی بوده است. در صورتی که سهم ماشین‌های الکتریکی در آمریکا در همان سال ۲۵-۲۰ درصد بوده است. بعضی از تولید کنندگان، تولید ماشین‌های تزریق هیدرولیکی با تناژ کمتر از 100 tons را متوقف کرده‌اند. در سال ۲۰۰۲، قوی ترین ماشین تزریقی تمام الکتریکی ساخته شده دارای تناژ 1500 tons بوده است.

بعضی از تولید کنندگان ماشین آلات قالب‌گیری تزریقی از سیستم محرکه هیبریدی (Hybrid) استفاده کرده‌اند. در این نوع ماشین‌ها، از محرکه هیدرولیکی برای حرکت های خطی و از محرکه الکتریکی برای حرکت های دورانی استفاده می‌شود. بدین ترتیب از سرعت سیستم هیدرولیکی و دقت سیستم الکتریکی تواما استفاده شده است. ماشین‌های تمام الکتریکی، سرعت تزریق ماشین‌های هیدرولیکی را ندارد.

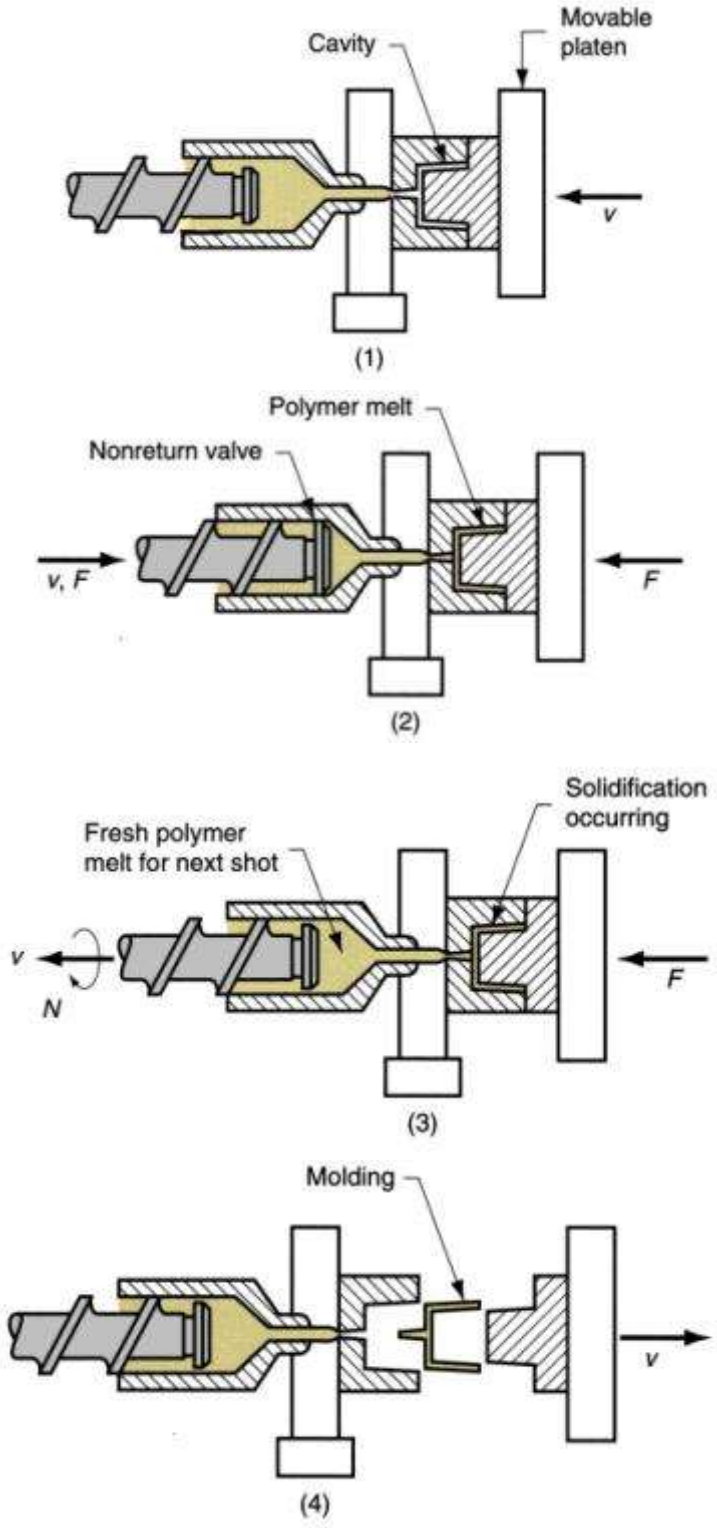
۳-۱-۶- مراحل قالبگیری تزریقی

در ابتدا با چرخش پیچ تزریق (ماردون)، مواد گرانول پلاستیکی به مرور ذوب شده و به سمت جلو منتقل می‌شوند و در حین این مرحله قالب بسته می‌شود و در ادامه پیچ به صورت خطی به جلو حرکت می‌کند (مانند یک سنبه) و سبب وارد شدن مواد مذاب به داخل قالب از نازل انتهایی سیلندر می‌شود. برای اطمینان از اینکه مذاب به سمت عقب بر نمی‌گردد، یک شیر یک طرفه (check valve) به صورت رینگ لغزشی به انتهای پیچ تزریق متصل می‌شود.

عموماً پیچ در موقعیت جلوی خود باقی می‌ماند تا فشار نگهدارنده‌ای (holding pressure) را اعمال کرده باشد. این عمل موجب فشردگی هر چه بیشتر مذاب به داخل حفره قالب برای جبران آبرفتگی پلاستیک (shrinkage) در حین سرد شدن می‌شود. این فشار نگهدارنده فقط تا زمانی که دریچه‌ها (Gates) باز هستند، موثر می‌باشد. به محض منجمد شدن دریچه (gate)، دیگر هیچ مذابی امکان ورود به قالب را ندارد و بازگشت به عقب ماردون شروع می‌شود. در این مرحله، ماردون شروع به چرخش کرده، مواد پلاستیکی جدیدی را از قیف می‌گیرد. این مواد به جلوی ماردون هدایت می‌شود ولی چون حفره قالب از مواد پلاستیکی پر است، سبب تجمع مواد در جلوی ماردون می‌شود که برای تزریق بعدی آماده می‌شود.

برای مدت از پیش تعیین شده‌ای، ماردون از چرخش باز می‌ایستد و دستگاه به انتظار انجماد کامل قطعه در راهگاه باقی می‌ماند. هنگامی که قطعه تا دمایی سرد شود که قطعه به اندازه کافی جامد باشد و شکل خود را حفظ کند، قالب باز شده،

قطعه به خارج پران می‌شود. قالب دوباره بسته می‌شود و چرخه دوباره تکرار می‌شود. شکل زیر مراحل تزریق را نمایش می‌دهد.



مراحل چرخه تزریق

بنابراین هر سیکل از عملیات تزریق پلاستیک به طور خلاصه پنج مرحله دارد. این پنج مرحله در شکل صفحه بعد نشان داده شده است.

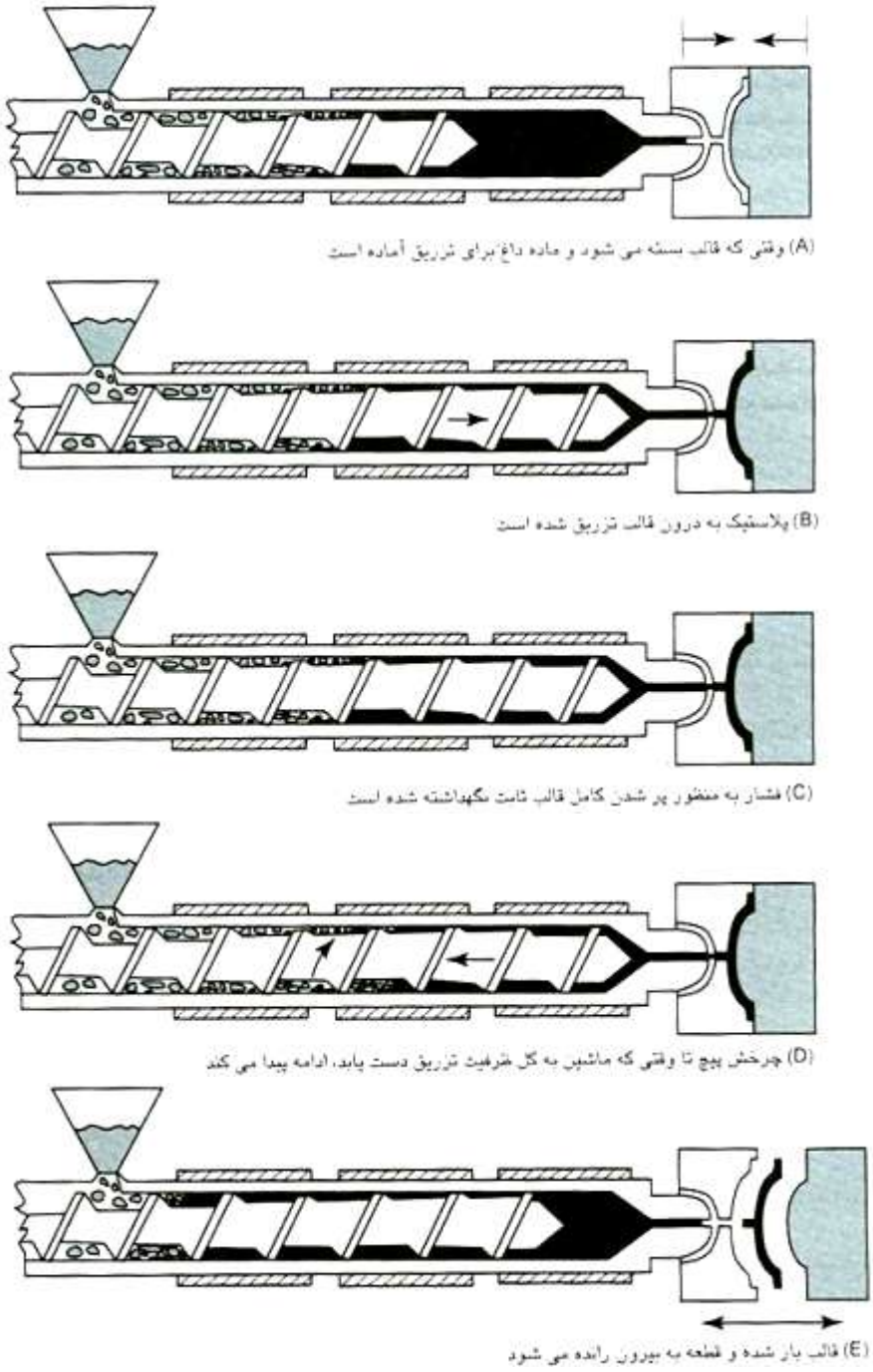
۱- بسته شدن قالب

۲- با حرکت خطی میله مارپیچ روبه جلو، پلاستیک داغ مذاب به داخل حفره قالب فرستاده می‌شود. شیر یک طرفه ای که در انتهای مارپیچ قرار دارد، به پلاستیک ذوب شده اجازه نمی‌دهد به عقب برگردد.

۳- میله مارپیچ، اعمال فشار به پلاستیک را آنقدر ادامه می‌دهد که پلاستیک داخل قالب سرد و منجمد شود. زمان اعمال فشار توسط تایمر تنظیم می‌شود و باید آن قدر باشد تا مواد پلاستیک در روزنه ورودی قالب نیز منجمد شود و بدین ترتیب ارتباط فشار قطع گردد. طولانی شدن بیشتر زمان، باعث اتلاف وقت می‌شود.

۴- فشار تزریق قطع شده و میله مارپیچ شروع به گردش می‌کند تا مواد مذاب جدید را از قیف تغذیه نماید. گردش میله ادامه یافته و مواد رو به جلو رانده می‌شود تا در سیکل بعدی حجم کافی از مواد پلاستیکی برای تزریق به قالب مهیا گردد. سپس میله اندکی به عقب حرکت می‌کند تا مواد پلاستیک مذاب به داخل کانال قالب نریزد.

۵- قالب باز شده و پین های بیرون انداز قطعه کار را بیرون می اندازد.



مراحل چرخه تزریق در ماشین‌های قالبگیری تزریقی

جمع زمان های این مراحل، زمان یک سیکل تزریق را تعیین می‌کند. زمان های یک سیکل را می توان به صورت زیر نیز دسته بندی کرد:

۱- زمان پر کردن، عبارت است از زمان جا به جایی هوای درون قالب با مواد پلاستیکی تزریق شده به داخل آن.

۲- زمان نگهداری فشار، عبارت است از زمان ادامه اعمال فشار تا پر شدن کامل قالب و انجماد پلاستیک در قسمت روزنه ورودی قالب.

۳- زمان خنک شدن یا زمان انتظار که عبارت است از زمان مورد نیاز برای انجماد کامل قطعه کار به طوری که بتوان آن را از قالب خارج کرد.

۴- زمان غیر موثر، که عبارت است از زمان باز شدن قالب، برداشتن قطعه کار و بسته شدن قالب.

۳-۱-۷- مزایای فرآیند قالب‌گیری تزریقی

هشت مزیت عمده فرآیند قالب‌گیری تزریقی که موجب شده این فرایند در صنعت بسیار رایج شود، عبارتند از:

- ✓ تعداد تولید بالا
- ✓ امکان کاشت قطعات فلزی و غیر فلزی در پلاستیک
- ✓ کیفیت بالای سطوح قطعه کار
- ✓ امکان تولید قطعات کوچک با فرم های پیچیده و تلرانس های ابعادی دقیق
- ✓ امکان استفاده از بیش از یک نوع ماده پلاستیکی در یک قطعه (ساخت قطعات چند لایه)
- ✓ عدم نیاز اغلب قطعات تولیدی به عملیات تکمیلی
- ✓ امکان استفاده مجدد از ضایعات پلاستیکی تولیدی
- ✓ قابلیت اتوماسیون کامل فرآیند

۳-۱-۸- معایب قالبگیری تزریقی

معایب فرآیند قالب‌گیری تزریقی عبارتند از:

- ✓ قالب‌گیری تزریقی برای تعداد تولید کم مناسب نیست.
- ✓ ماشین‌های تزریقی گران قیمت هستند و بنابراین هزینه هر ساعت کارکرد این ماشین‌ها نیز بالا است.
- ✓ در بعضی موارد قالب های تزریقی کوچک نیز خیلی گران قیمت می‌باشند.
- ✓ فرآیند قالب‌گیری تزریقی در مجموع فرآیند تولیدی پیچیده‌ای است.
- ✓ در صورتی که طراحی قطعه کار یا قالب به درستی انجام نشود، مشکلات فراوانی برای تولید کننده به وجود می‌آید. در صورتی که همه عوامل تحت کنترل نباشد، میزان اسقاط تولید نیز بالا رفته و زیان تولید کنندگان افزایش خواهد یافت.
- ✓ تولید کنندگان قطعات پلاستیکی تزریقی خیلی فراوان هستند و رقابت در این عرصه تولیدی زیاد است و بعضی تولید کنندگان نخواهند توانست در این رقابت ها برنده شوند.

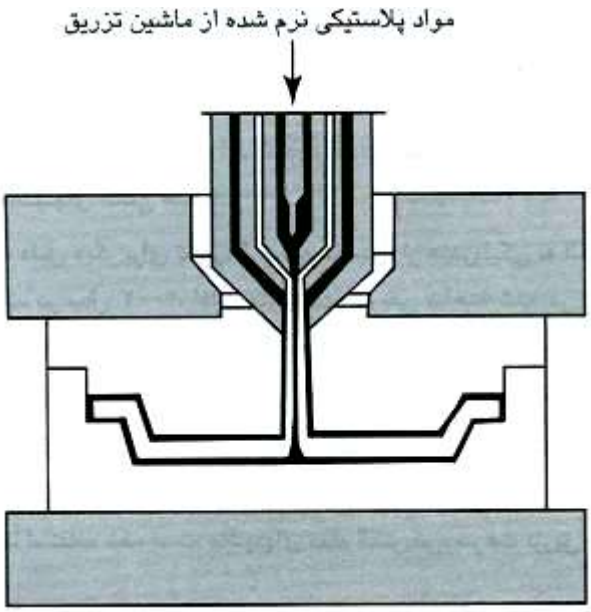
در جدول زیر به بعضی از مشکلات رایج در عملیات قالب‌گیری تزریقی اشاره شده است.

مشکلات رایج در عملیات قالب‌گیری تزریقی

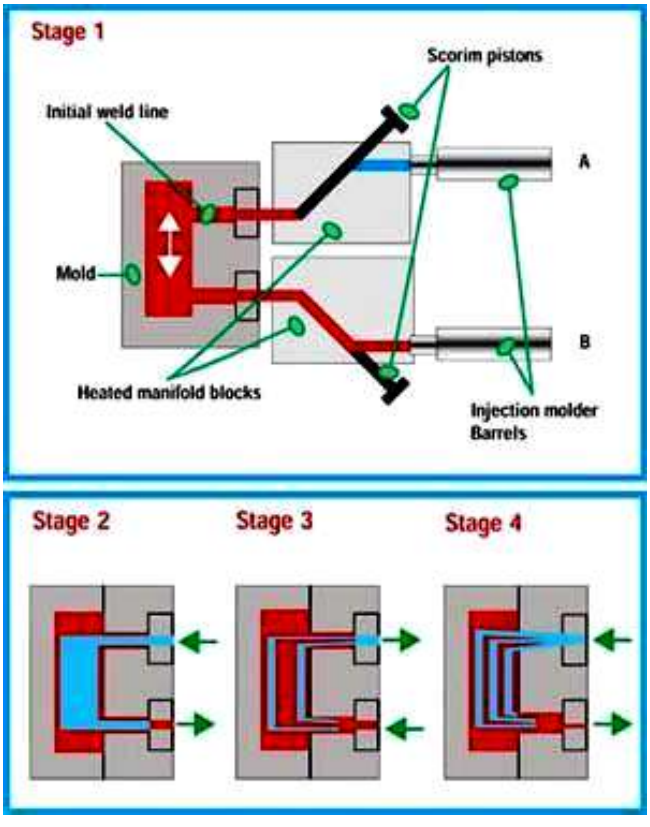
مشکل فنی	علت	چارهٔ ممکن
۱- تکه‌ها، ذرات یا رگه‌ها و مشکی	پوسته پوسته شدن پلاستیکها بر روی دیواره‌های سیلندر	گرمای درون سیلندر یا مخزن را خارج کنید.
	هوای به دام افتاده در قالب موجب سوختن می‌شود	منافذ یا سوراخهایی را به طرز صحیح بر روی قالب ایجاد کنید.
	سوختن اصطکاکی گرانولهای سرد در برابر دیواره‌های سیلندر	از پلاستیکهای مخلوط با روان‌کننده استفاده کنید.
۲- حبابهای هوا	وجود رطوبت بر روی گرانولها	خشک کردن گرانولها قبل از قالبگیری
۳- تراوش مواد پلاستیکی به بیرون قالب از لابلای شیارها و فضاهای خالی موجود	مواد پلاستیکی بیش از حد داغ می‌باشند	کاهش درجهٔ حرارت
	فشار بیش از حد بالاست	کاهش فشار
	خط جدایش ضعیف	خط جدایش را دوباره سنگ بزنید
	فشار نگهدارنده ناکافی	فشار نگهدارنده را زیاد کنید
۴- پرداخت ضعیف	قالب بیش از حد سرد است	درجه حرارت قالب را افزایش دهید
	فشار تزریق بیش از حد پایین است	فشار تزریق را افزایش بدهید
	آب بر روی سطح قالب	قالب را تمیز کنید
	روان‌کنندهٔ اضافی بر روی قالب باقیمانده است	قالب را تمیز کنید
	سطح خشن بر روی قالب	قالب را جلا بدهید
۵- قالبگیری ناقص	- مادهٔ پلاستیکی سرد است	آن را گرم کنید (افزایش درجه حرارت ماده)
	- قالب سرد است	دمای قالب را زیاد کنید
	- فشار ناکافی	افزایش فشار
	- ورودیهای کوچک	مدخلهای ورودی را بزرگ کنید
	- هوای بدام افتاده	افزایش اندازهٔ سوراخهای قالب
	- تعادل نادرست جریان پلاستیک در قالبهای دارای حفره‌های چندتایی	فرم کانالهای عبور مواد را اصلاح کنید
۶- نشانه‌های گودی یا فرورفتگی در سطح قطعه	مقدار مواد پلاستیکی درون قالب کافی نیست	افزایش سرعت تزریق، کنترل ابعاد مدخل ورودی
	پلاستیکها بیش از حد داغ می‌باشند	کاهش درجه حرارت سیلندر یا مخزن
	فشار تزریق بیش از حد پایین است	افزایش فشار
۷- پیچ و تاب، خمیدگی	قطعهٔ بیرون رانده شده بیش از حد داغ است	درجهٔ حرارت پلاستیک را کاهش دهید
	پلاستیکها بیش از حد سرد می‌باشند	درجه حرارت سیلندر را افزایش دهید
	ورود بیش از حد مواد به درون قیف تغذیه	کاهش ورود مواد
	مدخلهای ورودی نامتعادل	محل مدخلهای ورودی را تغییر دهید یا مدخلهای ورودی را کاهش دهید
۸- نشانه‌های ایجاد شده در سطح قطعه	ماده سرد است	افزایش درجه حرارت پلاستیکها
	قالب سرد است	افزایش درجه حرارت قالب
	تزریق آهسته می‌باشد	افزایش سرعت تزریق
	جریان نامتعادل در مدخلهای ورودی و کانالهای چرخشی	متعادل‌سازی دوبارهٔ مدخلهای ورودی یا کانالهای گردشی

۳-۱-۹- قالبگیری قطعات چند لایه (Coinjection molding)

در این عملیات دو یا چند پلاستیک مختلف به داخل حفره قالب تزریق می‌شوند. در این روش قالبگیری معمولاً یکی از مواد به صورت پوسته‌ای همه سطح داخل قالب را می پوشاند و ماده دیگر به صورت یک توده متخلخل داخل ماده اول را پر می‌کند. ماده‌ای که در داخل قرار می‌گیرد معمولاً دارای عوامل حباب‌زا (Blowing agents) است تا بتواند یک ساختار اسفنجی با چگالی پایین به وجود آورد. گاهی اوقات به این فرآیند قالب‌گیری ساندویچی (Sandwich molding) نیز گفته می‌شود.



استفاده از سه کانال مذاب مختلف برای تغذیهٔ قالب



مراحل قالب قالبگیری یک نمونه قطعه چند لایه (به ورود و خروج مواد دقت کنید!)

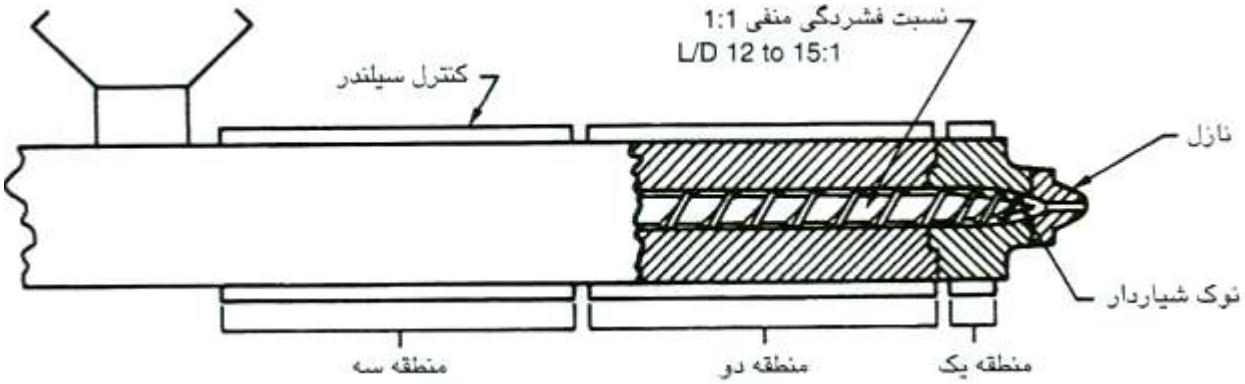
معمولاً در قالب‌گیری قطعات چندلایه، از مواد پلاستیکی متفاوت برای پوسته و هسته استفاده می‌شود. در ساخت این گونه قطعات می توان از الیاف تقویتی نیز استفاده کرد تا استحکام قطعه کار افزایش یابد، ولی وجود این الیاف ممکن است جریان یکنواخت و مورد انتظار مواد پلاستیکی و چیدمان الیاف در داخل قالب را به هم بریزد.

انتخاب نوع پلاستیک و مواد افزودنی همراه آن، برای پوسته این گونه قطعات محدودیت دارد، زیرا قطعاتی که به این روش ساخته می‌شوند باید رنگ های متنوعی داشته و معمولا مصارف خانگی و اداری دارند. از جمله قطعاتی که به روش قالب‌گیری چند لایه ساخته می‌شوند می توان به قطعات به کار رفته در اتاق خودروها، بدنه ماشین‌های اداری، قطعات مبلمان و لوازم خانگی اشاره کرد.

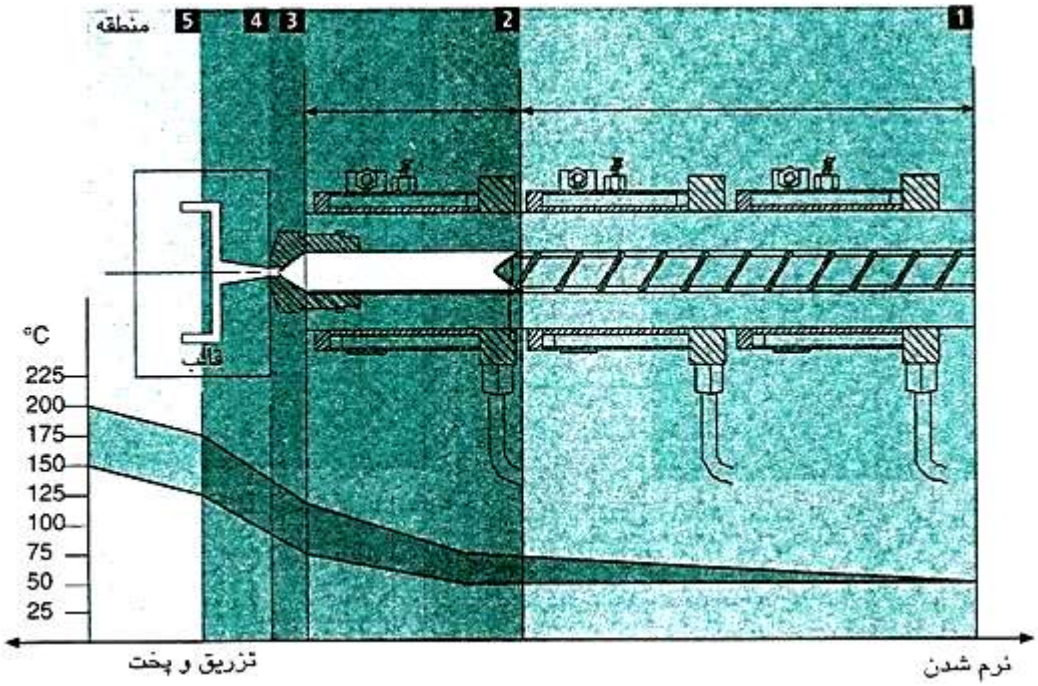
۳-۱-۱۰- قالبگیری تزریقی ترموست ها

طراحی قالب و ماشین‌های تزریقی مواد ترموست نسبت به مواد ترموپلاستیک متفاوت است. مثلا در ماشین‌های تزریق مواد ترموست نیازی به شیر یک طرفه نمی‌باشد، زیرا ترموست به هنگام تزریق خیلی سفت هستند و پس از تزریق فقط مقدار کمی مواد در پوسته باقی می‌ماند. عمق شیارهای مارپیچ کم و نسبت آن ها نیز یک به یک است.

برای قالب‌گیری قطعات حجیم ترموستی که مواد پرکننده یا تقویت کننده نیز در آن ها وجود دارد باید از ماشین‌های پلانجری (Plunger machine) استفاده کرد. نسبت طول به قطر مارپیچ در ماشین‌های تزریق ترموست ها از ۱۲:۱ تا ۱۶:۱ تغییر می‌کند، در صورتی که این نسبت در ماشین‌های تزریق ترموپلاستیک ها بیشتر (۱۸:۱ تا ۲۴:۱) است.



در عملیات تزریق اغلب مواد ترموست، کنترل درجه حرارت قالب و پوسته مارپیچ بسیار مهم می‌باشد. دمای مواد در پوسته نسبتا پایین است و با اعمال فشار زیاد به صورت خمیری درمی‌آید. اتصالات عرضی (Cross- linking) بین مولکول‌های پلاستیک در داخل قالب و هنگامی که مواد در همه قالب پر شد، باید اتفاق بیفتد. دمای قالب اثر زیادی در زمان سیکل قالب‌گیری دارد. در شکل زیر درجه حرارت قسمت های مختلف در قالب‌گیری تزریقی ترموست ها نشان داده شده است.



برای پیشگیری از تشکیل اتصالات عرضی در داخل پوسته، دمای پوسته پایین نگاه داشته می‌شود.

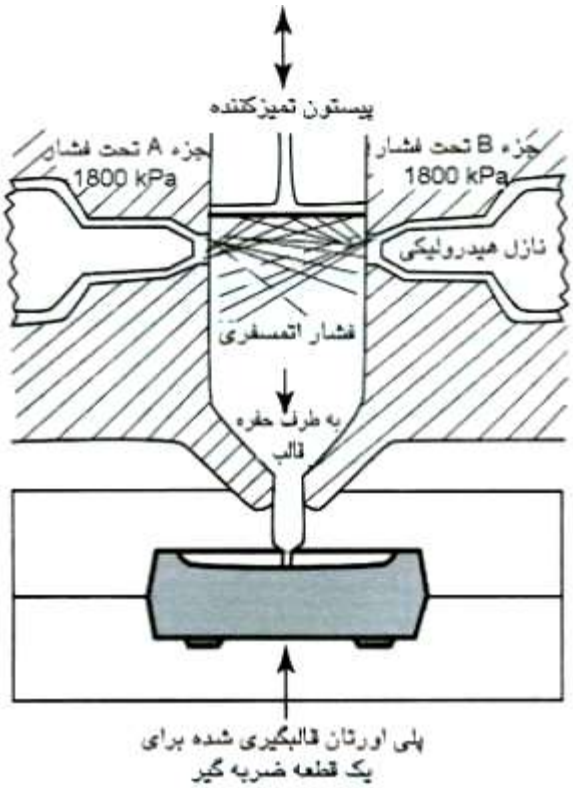
۳-۱-۱۱- قالب‌گیری مواد پلاستیکی مایع

در بعضی فرآیندهای از رزین مایع (Liquid resins) برای ساخت قطعات پلاستیکی استفاده می‌شود. یک دلیل برای استفاده از این مواد این است که رزین مایع خیلی راحت تر از ماده ترموپلاستیکی ذوب شده می تواند قالب را پر کند. رزین مایع به قطعات ظریفی که قرار است در قطعه پلاستیکی کاشته شود نیز آسیب نمی رساند، زیرا به راحتی به اطراف آن جاری شده و آن را دربرمی‌گیرد. فرآیندهای اصلی در قالب‌گیری این گونه مواد عبارتند از قالب‌گیری تزریقی واکنشی یا (Reaction Injection Molding) RIM و قالبگیری انتقالی رزین های مایع یا RTM (Resin Transfer Molding) که در ادامه تشریح خواهند شد.

۳-۱-۱۱-۱- قالب‌گیری تزریقی واکنشی

در این روش قالب‌گیری، چند ماده شیمیایی که با هم میل ترکیبی دارند، با هم مخلوط شده و با فشار به درون قالب تزریق می‌شوند و در آن جا واکنش پلیمریزاسیون اتفاق می افتد. مواد پلاستیکی که غالبا در این فرآیند استفاده می‌شوند عبارتند از پلیول ها، ایزوسیانات ها، پلی اورتان های اصلاح شده نظیر پلی‌استر، اپوکسی و مونومرهای پلی آمید.

در این فرآیند، ابتدا مواد پلاستیکی در یک محفظه اختلاط، در حالت پاشش با یکدیگر مخلوط شده و بلافاصله به داخل قالب تزریق می‌شوند و در قالب به صورت یک قطعه صلب و غالبا متخلخل در می‌آیند. صنایع خودروسازی و مبلمان، مشتریان اصلی فرآیند RIM هستند. قطعاتی نظیر سپرها، ضربه گیرها و بعضی کابینت ها به این روش تولید می‌شوند.



تناژ مورد نیاز برای ماشین‌های تزریقی واکنشی بسیار کمتر از ماشین‌های تزریقی ترموپلاستیک ها است. قالب دو تکه این فرآیند را می توان به راحتی باز و بسته کرد و اپراتور می تواند به سرعت و به آسانی قطعه کار را از قالب خارج نماید. هفت مزیت و چهار عیب فرآیند قالب‌گیری تزریقی واکنشی در زیر آمده است.

مزایای قالبگیری تزریقی واکنشی عبارتند از:

۱- ایجاد یک هسته متخلخل در داخل یک پوسته مکمل برای ساخت قطعات بادوام

۲- سیکل عمیات کوتاه برای قطعات بزرگ

۳- پرداخت سطحی مطلوب با قابلیت رنگ کردن قطعه کار

۴- هزینه پایین تر نسبت به ریخته گری پلاستیک ها

۵- قابلیت تقویت کردن پلیمر

۶- استفاده از قالب های ساده تر و ارزان تر نسبت به قالب های تزریقی ترموپلاستیک ها

۷- هزینه پایین تر در خرید ماشین آلات به دلیل تناژ پایین تر

معایب قالب‌گیری تزریقی واکنشی عبارتند از:

۱- نیاز به خرید ماشین آلات جدید

۲- یک سیستم تزریقی واکنشی نیاز به مخزن های متفاوت برای مواد شیمیایی متفاوت در کنار خود دارد

۳- در قالب باید از مواد جداساز (Releasing agents) استفاده کرد.

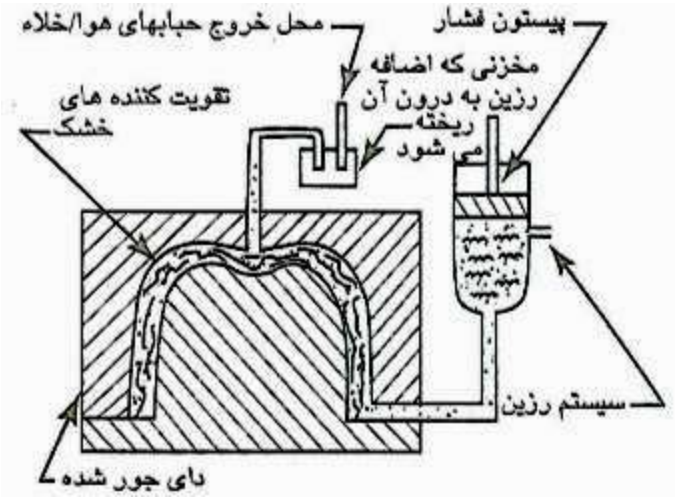
۳-۱-۱۱-۲- قالبگیری رزین مایع یا LRM

این فرآیند (Liquid resin molding) در فشار پایین انجام می‌شود و در آن به جای پاشش مواد برای اختلاط، از هم زن های مکانیکی استفاده می‌شود. این فرآیند در ابتدا برای کاشتن قطعات در یک توده پلاستیکی به کار برده شد. فرآیند LRM در واقع یک گروه از فرآیندهای مشابه نظیر قالب‌گیری انتقالی رزین (RTM)، قالب‌گیری تزریقی مکشی (VIM) و قالب‌گیری انتقالی رزین با انبساط حرارتی (TERTM) را دربر می‌گیرد. در همه این فرآیندها، رزین با فشار کمی وارد قالب شده و در آن جا سریعا عمل آوری (Cure) می‌شود.

در فرآیندهای قالب‌گیری رزین های مایع معمولا از مواد پلاستیکی نظیر اپوکسی سیلیکون، پلی‌استر و پلی اورتان استفاده می‌گردد. با توجه به ویژگی خاص این رزین ها، میله مارپیچ مورد استفاده در ماشین‌های تزریق آن ها نیز طرح خاصی باید داشته باشد. عمق شیارهای این گونه مارپیچ ها باید به گونه ای باشد که رزین را در طول جابه جایی، تحت فشار قرار ندهد و نسبت طول به قطر (L/D) آن نیز کوچک باشد.

۳-۱-۱۱-۳- قالب‌گیری انتقالی رزین

در این روش (Resin transfer molding) که گاهی قالب‌گیری تزریقی رزین (Resin injection molding) نیز نامیده می‌شود، رزین مایع به همراه کاتالیزور به داخل یک قالب که قبلا یک قطعه شکننده یا مواد تقویت کننده داخل آن قرار داده شده است، تزریق می‌شود. با توجه به فشار کم مورد استفاده در این فرآیند، قطعه کار یا الیاف موجود در قالب جابه جا نمی‌شوند. قطعات کامپوزیتی بزرگ را می توان با این روش ساخت. اصول عملکرد روش RTM در شکل نشان داده شده است.



مزایای روش RTM:

۱- در این روش نیازی به گرم کردن دانه های پلاستیک برای ذوب کردن آن نمی‌باشد.

۲- برای قالب‌گیری قطعات تزیینی و شکننده در یک توده پلاستیکی مناسب است.

۳- در این روش نیازی به پیش گرم کردن و پیش فرم دادن نیست.

۴- فشارهای اعمالی در این فرآیند پایین است.

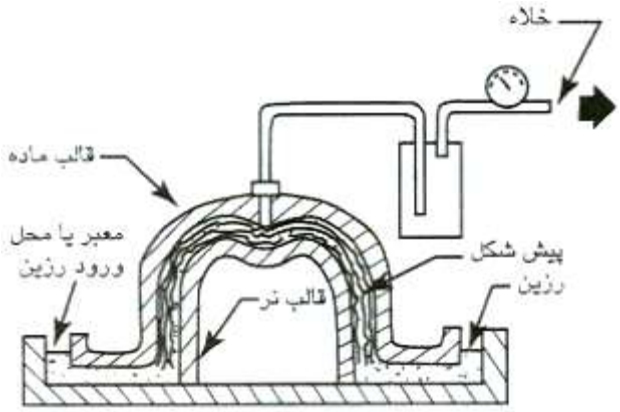
۵- حداقل ضایعات برای مواد وجود دارد.

۶- رزین در زمان کوتاه و در دمای پایین عمل آوری شده و سخت می‌گردد.

۷- قابلیت اطمینان فرآیند و دقت ابعادی قطعات بالا است.

۳-۱-۱۱-۴- قالبگیری تزریقی مکشی

در این فرآیند (Vacuum injection molding) قطعات کاشتنی یا الیاف تقویتی در نیمه مادگی قالب قرار گرفته و به همراه آن بر روی نیمه نری قالب قرار داده می‌شوند. سپس با اعمال مکش به قالب، رزین به فضای خالی بین دو قالب جاری می‌گردد.



شکل ۳۲-۱۰ مفهوم فرآیند قالبگیری تزریقی در خلاء

۳-۱-۱۱-۵- قالبگیری انتقالی رزین با انبساط حرارتی

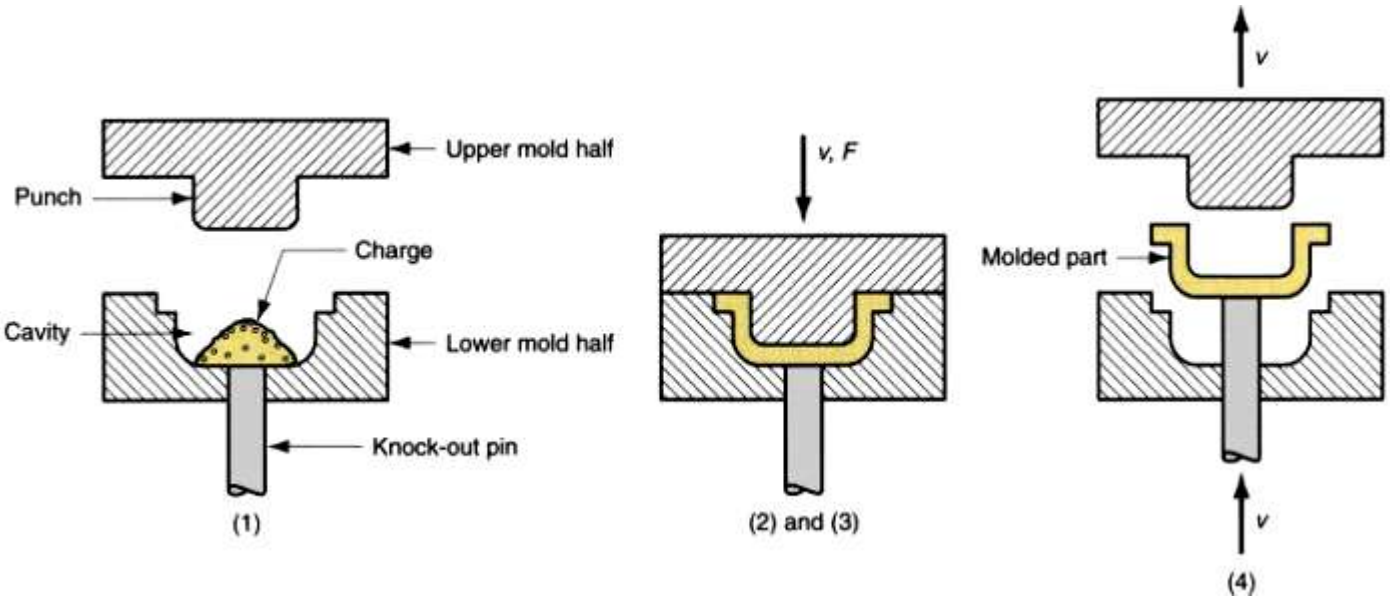
این روش (Thermal- expansion resin transfer molding) نیز گونه ای دیگر از فرآیند RTM محسوب می‌شود. در این فرآیند یک ماندرل متخلخل از جنس PVC یا PU که با الیاف تقویتی پیچیده شده است به داخل حفره قالب قرار داده شده و رزین اپوکسی (یا نوع دیگر) به داخل قالب تزریق می‌شود تا همه حفره را پر کند. گرمای اعمالی به قالب سبب می‌شود که ماده متخلخل منبسط شده و همه مواد داخل قالب را به دیواره های داخلی بچسباند. قالب باید گذرگاه هایی برای خروج مواد اضافه و هوای حبس شده داخل مواد داشته باشد.

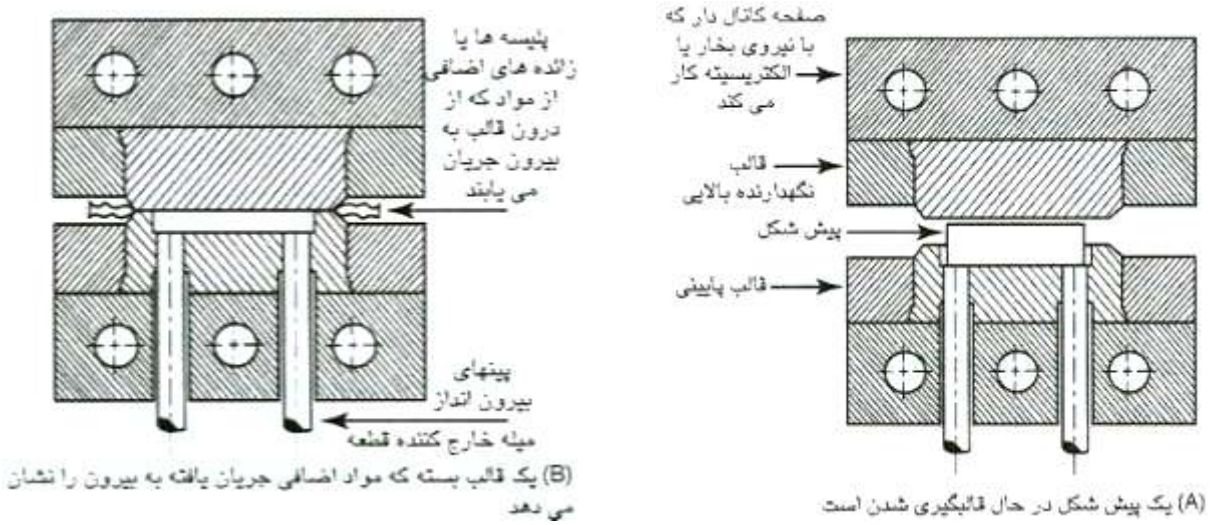
۳-۱-۱۲- قالبگیری مواد ترموست دانه ای و صفحه ای

دو روش رایج در قالب‌گیری مواد پلاستیکی ترموست به صورت دانه ای و صفحه ای وجود دارد که عبارتند از قالب‌گیری فشاری و قالب‌گیری انتقالی.

۳-۱-۱۳-۱- قالبگیری فشاری

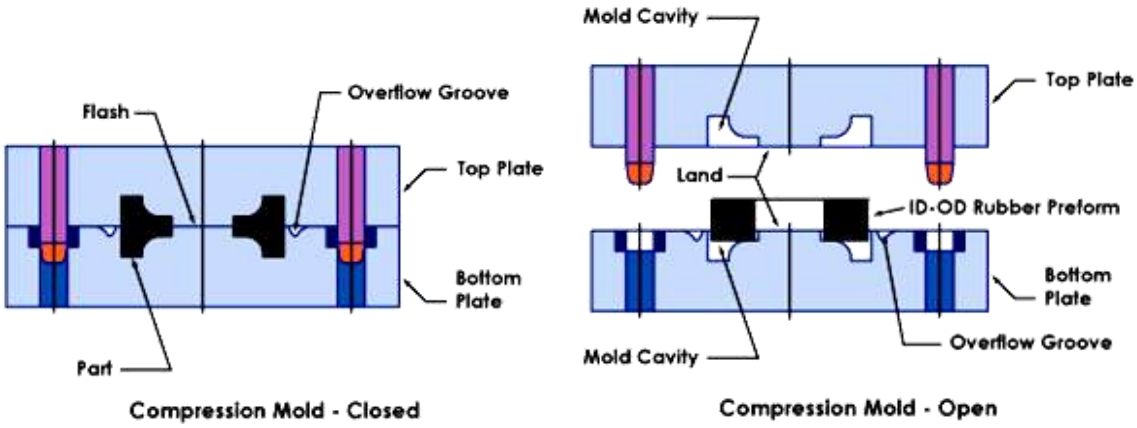
یکی از قدیمی ترین فرآیندهای شکل دادن مواد ترموست، قالب‌گیری فشاری (Compression molding) است. در این روش ماده پلاستیکی در حفره قالب قرار داده شده و با اعمال حرارت و فشار، شکل می‌گیرد. قاعدتاً از این روش برای فرم دادن مواد ترموست استفاده می‌شود. ولی گاهی مواد ترموپلاستیک را نیز می توان با این روش تولید کرد. با اعمال فشار و حرارت به ماده پلاستیکی؛ این ماده همه قسمت های قالب را پر می‌کند. با اعمال گرما، پلاستیک سخت می‌شود و می توان آن را از قالب خارج نمود.





(A) یک پیش شکل در حال قالبگیری شدن است

(B) یک قالب بسته که مواد اضافی جریان یافته به بیرون را نشان می دهد



قالبگیری فشاری

پوتین های لاستیکی تولید شده به روش قالبگیری فشاری

برای کاهش حرارت و زمان فرآیند، ماده پلاستیکی را قبلا به یکی از روش های مادون قرمز، القایی یا روش دیگری، پیش گرم کرده و سپس داخل قالب قرار می‌دهند. برای افزایش تولید می توان از یک سیستم اکسترودر پیچی (شبیه ماشین‌های تزریقی) نیز استفاده نمود و قطعات پیش فرم را آماده کرد. با به کارگیری سیستم تولید پیش فرم، سرعت تولید پایین این روش، که یکی از معایب آن به شمار می رود را می توان تا ۴۰۰ درصد افزایش داد.

برای ساخت قطعات از جنس پلی‌استر از توده ترکیب شده ترموستی یا BMC (Bulk Molding Compound) استفاده می‌شود.BMC در واقع مخلوطی از مواد پرکننده، رزین، عامل سخت کننده (Hardening agents) و دیگر مواد افزودنی است. ابتدا یک توده اکسترود شده از این مواد به صورت داغ تهیه شده و بلافاصله وارد قالب می‌شود تا در آن جا به فرم نهایی درآید.

دیگر مواد ترموست مورد استفاده در این فرآیند عبارتند از پلاستیک های فنولیک، اوره فرم آلدیید و ترکیبات ملامین. همانند BMC، این مواد نیز قبل از ورود به قالب به صورت پیش فرم درمی‌آیند تا امکان اتوماسیون و افزایش سرعت فرآیند فراهم شود. در قالب‌گیری فشاری می توان از حجم زیادی مواد پر کننده و الیاف در ساخت قطعه کار استفاده کرد. این مواد یا الیاف را می توان در جهات متقاطع بر روی هم قرار داد تا قطعه کار از نظر خواص مکانیکی در جهات مختلف همسان (Isotropic) باشد و برعکس می توان الیاف را در جهات خاص مرتب کرد تا خواص مکانیکی حاصله در جهات مختلف، ناهمسان شود.

پرس های قالب‌گیری فشاری معمولا براساس نیروی اعمالی آن ها درجه بندی می‌شوند. برای تولید قطعه کار با ضخامت حداکثر 25 mm [1 in]، به فشاری برابر با 20 Mpa [2900 psi] نیاز است. با افزایش ضخامت قطعه کار، به ازای هر 25 mm باید 5 Mpa [725 psi] به این فشار افزوده شود. محرکه این گونه پرس ها، هیدرولیکی است.

برای گرم کردن قالب ها می توان از بخار، الکتریسیته، روغن داغ و یا شعله استفاده نمود. به کارگیری روغن داغ رایج تر است، زیرا می توان آن را تا دماهای بالا گرم کرد، بدون آن که فشار درون آن افزایش قابل توجهی داشته باشد. در صورتی که بتوان انرژی کافی تامین کرد، گرمایش الکتریکی نیز گزینه خوب و تمیز است.

به هنگام ایجاد قطعات پیش فرم و قالب‌گیری محصول نهایی، با اعمال حرارت و کاتالیزورهای مختلف، پیوندهای عرضی (Cross- linking) بین مولکول های ماده آغاز می‌شود. در ایجاد این پیوندها ممکن است مواد مختلفی نظیر گازها و آب به عنوان محصولات جانبی واکنش به وجود آید. ایجاد این گونه مواد و حبس شدن آن ها در ماده اصلی، ممکن است بر خواص

قطعه کار تاثیر سوء گذاشته و کیفیت آن ها به شدت کاهش یابد. برای جلوگیری از این پدیده باید فضای داخل قالب به هنگام قالب‌گیری مواد، روزنه هایی به بیرون داشته باشد تا مواد زاید خارج گردد.

با انجام واکنش شیمیایی در مواد ترموست، پیوندهای عرضی بین مولکول ها به وجود آمده و قطعه کار به صورت یک توده صلب (و غیر قابل نرم شدن مجدد) درمی‌آید. بنابراین می توان قطعه کار را در حالی که هنوز داغ است از قالب خارج نمود. ولی در قالب‌گیری مواد ترموپلاستیک باید صبر کرد تا قطعه کار خنک شود.

اکثر قطعات الاستومری به روش قالب‌گیری فشاری تولید می‌شوند. قالب‌گیری فشاری برای تولید قطعات پلاستیکی با پیچیدگی متوسط مناسب است. قطعات توده ای بزرگ را می توان به خوبی با این روش تولید کرد. ایجاد فرم های فرو رفته جانبی نظیر گاه گیری و سوراخ های عرضی را نمی توان بر روی قطعه کار به وجود آورد. گذاشتن قطعات فلزی و غیر فلزی در داخل ماده پلاستیکی نیز با روش قالب‌گیری فشاری امکان پذیر نمی‌باشد. تلرانس ابعادی قطعه کار تولیدی با این روش خیلی دقیق نیست. هزینه های نگهداری و تعمیر قالب، هزینه ساخت قالب و هزینه دور ریز در این فرآیند پایین است.

عملیات قالب‌گیری فشاری معمولا شش مرحله اصلی دارد:

۱. تمیز کردن قالب و مالیدن ماده جدا کننده (در صورت نیاز) درون حفره قالب
۲. قرار دادن قطعه پیش فرم داخل قالب
۳. بسته شدن قالب
۴. باز کردن قالب به اندازه کمی تا گازهای ایجاد شده بتوانند تخلیه شوند (تنفس قالب)
۵. اعمال حرارت و فشار برای عمل آوری کامل مواد (زمان نگهداری قالب در حالت بسته)
۶. باز کردن کامل قالب و برداشتن قطعه کار و قرار دادن آن بر روی فیکسچر سرد

مزایای روش قالب‌گیری فشاری:

۱. کاهش مقدار دور ریز مواد (راهگاه، راهبار و دیگر گذرگاه های عبور مواد)
۲. هزینه پایین ساخت قالب
۳. قابلیت انجام فرآیند به صورت دستی و اتوماتیک
۴. امکان تولید قطعات بزرگ
۵. به حداقل رسیدن جریان مواد درون قالب و کاهش ایجاد تنش در قطعه کار و سایش در سطوح قالب
۶. در ساخت قالب های چند حفره ای نیازی به بالانس سیستم تغذیه ماده اولیه نیست.

معایب روش قالب‌گیری فشاری:

۱. عدم امکان تولید قطعات پیچیده
۲. قطعات کاشتنی داخل پلاستیک و پین های بیرون انداز ممکن است در این فرآیند آسیب ببینند.
۳. زمان سیکل هر بار قالب‌گیری ممکن است طولانی شود.
۴. قطعات اسقاط شده و ضایعات قالب‌گیری را نمی توان مجدد استفاده کرد.

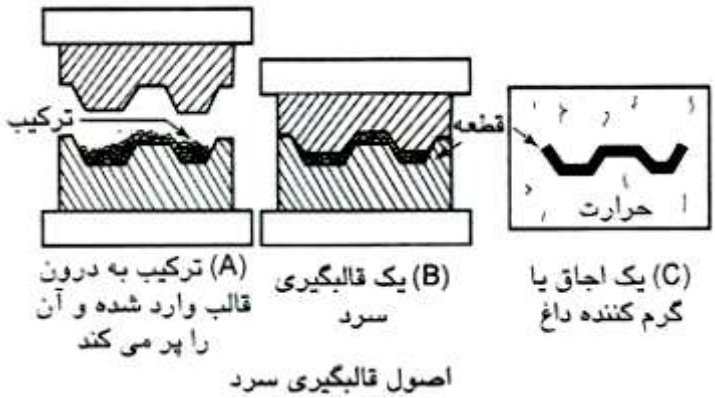
۵. بعضی از قسمتهای قالب ممکن است پر نشوند و دقت ابعادی قطعه کار ممکن است همیشه تابعی از ابعاد قالب نباشد.

۶. برای اتوماسیون عملیات شاید لازم باشد از تجهیزات اضافی استفاده شود.

بعضی قطعات ساخته شده توسط قالبگیری فشاری عبارتند از : ظروف غذاخوری، دکمه ها، قلابها، دستگیره ها، قطعات لوازم خانگی، بدنه رادیو، مخزن های بزرگ و بسیاری قطعات الکتریکی.

۳-۱-۱۳-۲- قالبگیری سرد (Cold molding)

بعضی از پلاستیکهای ترموست نظیر فنولیکها، برای قالبگیری احتیاج به گرما ندارند. پس از ساخت قطعه کار به این روش، آن را داخل کوره قرارمی دهند تا کاملاً سخت شود. قطعات عایق الکتریکی، دستگیره ظروف خوراکپزی و بدنه باتریها نمونه هایی از قطعاتی هستند که با این روش تولید می شوند.

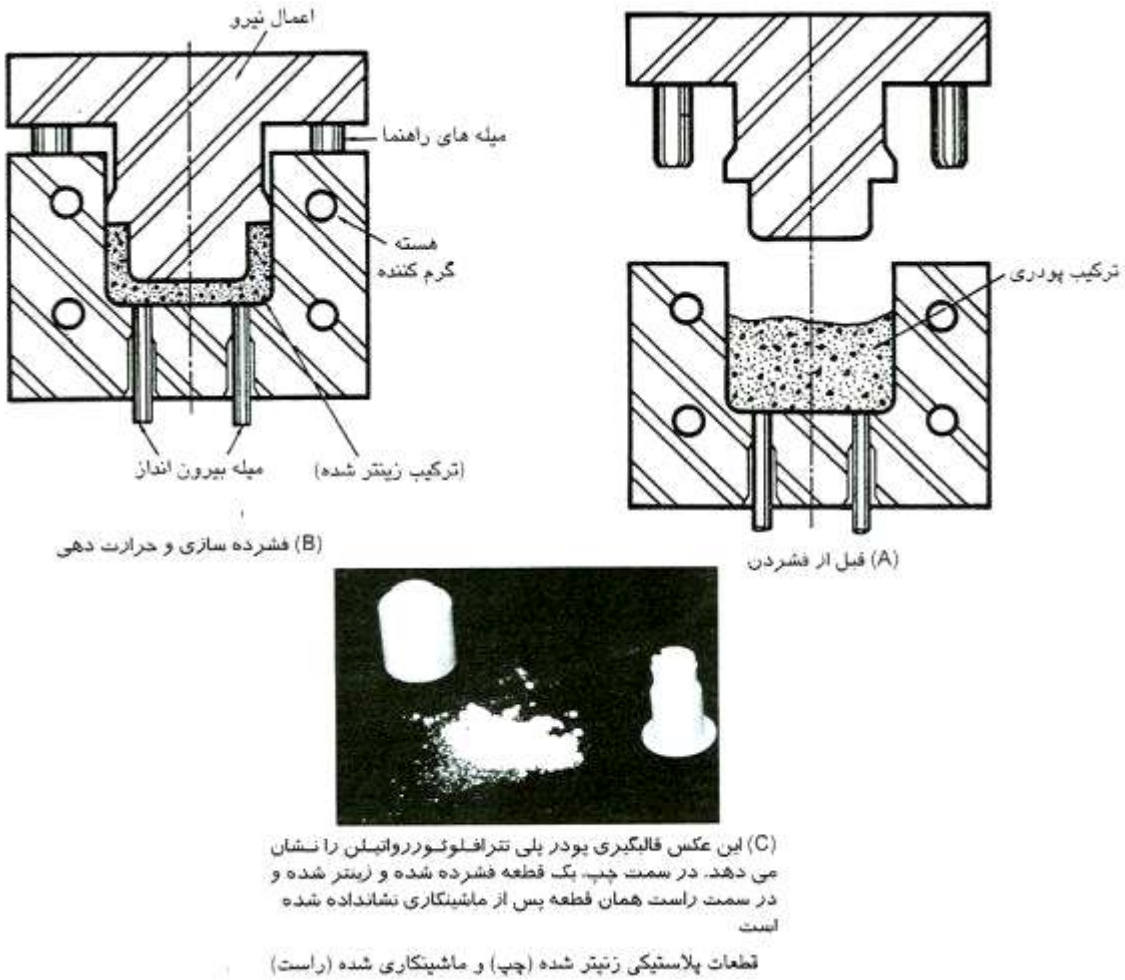


اصول قالبگیری سرد

۳-۱-۱۳-۳- تف جوشی (Sintering)

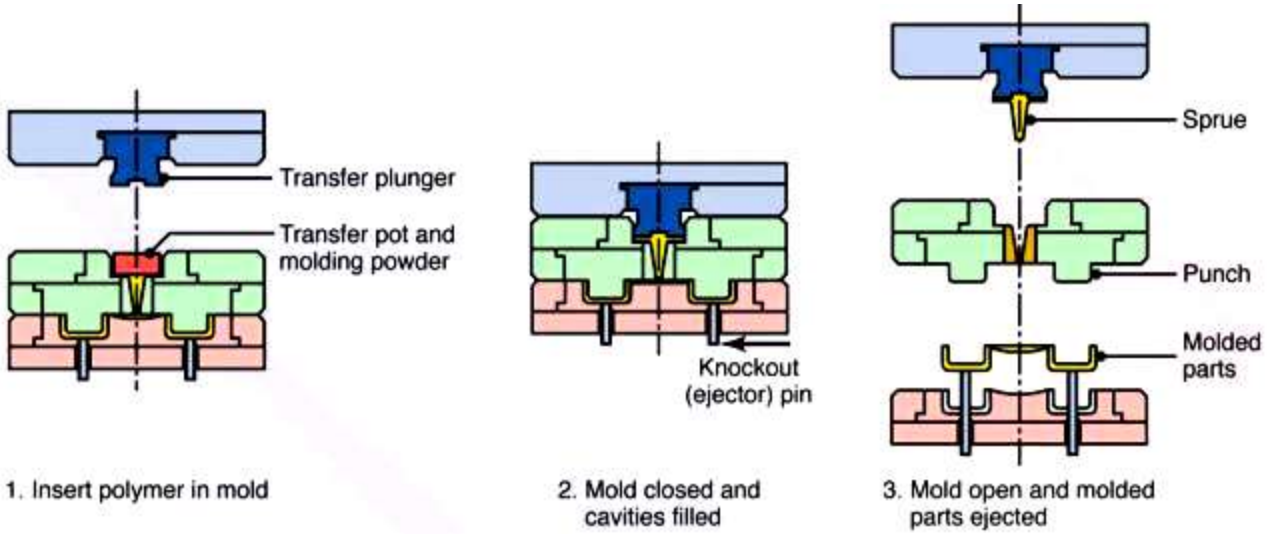
در این روش ، پودر ماده پلاستیکی را در یک قالب داغ، تحت فشار قرار می دهند. حرارت قالب باید کمی پایین تر از دمای ذوب پلاستیک باشد. قالب به همین وضعیت به مدت نیم ساعت نگهداشته می شود. در این عملیات، دانه های پلاستیک به هم می چسبند (به طور موضعی به هم جوش می خورند)، ولی کل توده پلاستیک ذوب نمی شود. اتصال بین دانه ها به دلیل مبادله اتمها صورت می گیرد. پس از عملیات تف جوشی، ممکن است قطعه کار مجدداً در معرض حرارت و فشار قرار گیرد تا به ابعاد و خواص نهایی خود برسد. عوامل مهم در فرآیند تف جوشی عبارتند از : گرما، زمان و نوع پلاستیک.

این فرآیند در واقع همان تف جوشی است که در فرآیند متالورژی پودر نیز به کار می رود. از این فرآیند می توان برای ساخت قطعاتی از جنس پلی تترافلوئوراتلین، پلی آمید و پلاستیکهای حاوی مواد پر کننده استفاده نمود. غالباً قطعات پلاستیکی از جنس پلی تترافلوئوراتلین به این روش ساخته می شوند. قطعات ساخته شده با این روش کاملاً متراکم هستند و خواص مکانیکی و الکتریکی خوبی دارند. هزینه تأمین قالب در این روش بالا است و قطعات با شکل پیچیده و دارای ضخامت دیواره متغیر را بسختی می توان با روش تولید نمود.



۳-۱-۱۳-۴- قالبگیری انتقالی

این روش (Tranfer molding) از زمان جنگ جهانی دوم شناخته شد. این روش را با نامهای دیگری نظیر قالبگیری پلانجری، قالبگیری تزریقی انتقالی و قالبگیری ضربه ای نیز می شناسند. این روش در واقع فرم تغییر یافته ای از قالبگیری فشاری است که در آن، مواد پلاستیکی ابتدا به یک مخزن در خارج از قالب ریخته شده و در آنجا به صورت یک توده ذوب شده در می آید که در نهایت به داخل قالب رانده می شود. با توجه به مایع بودن پلاستیک به هنگام ورود به قالب می توان عملیات کاشت قطعات فلزی را نیز با این روش انجام داد. قطعات با شکل پیچیده و دقیق نیز با این روش قابل تولید است. این روش در واقع شبیه قالبگیری تزریقی است که بر روی مواد ترموست اجرا می گردد.

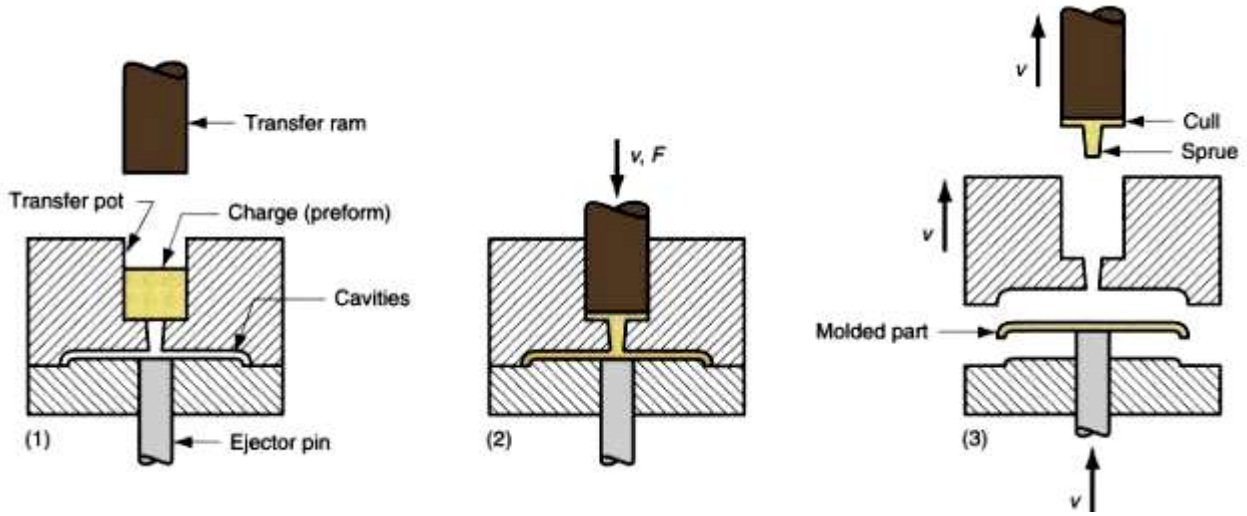


قالبهای مورد استفاده در این روش ، دو نوع هستند :

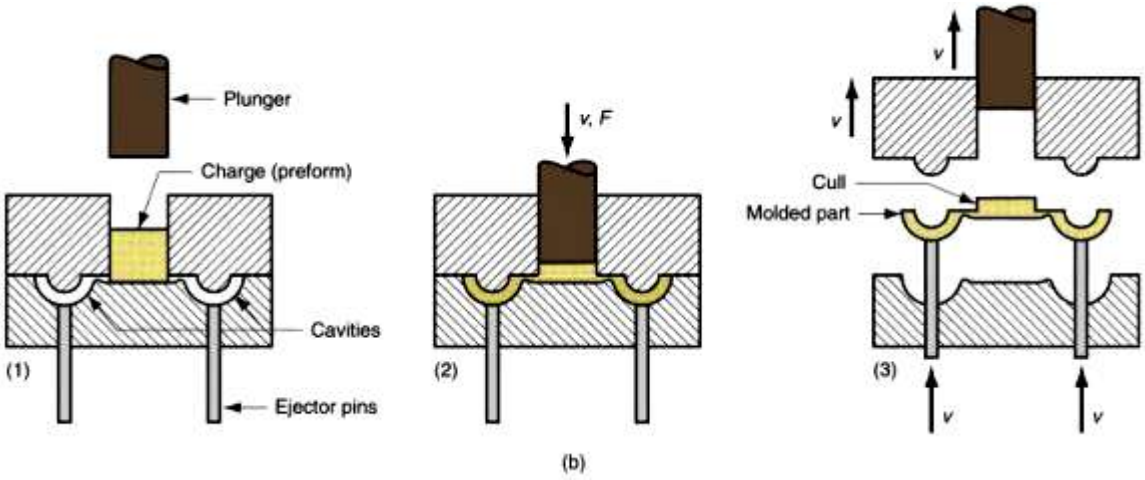
۱- قالبهای با کانال واسطه (Pot Or sprue mold)

۲- قالبهای پلانجری (Plunger mold)

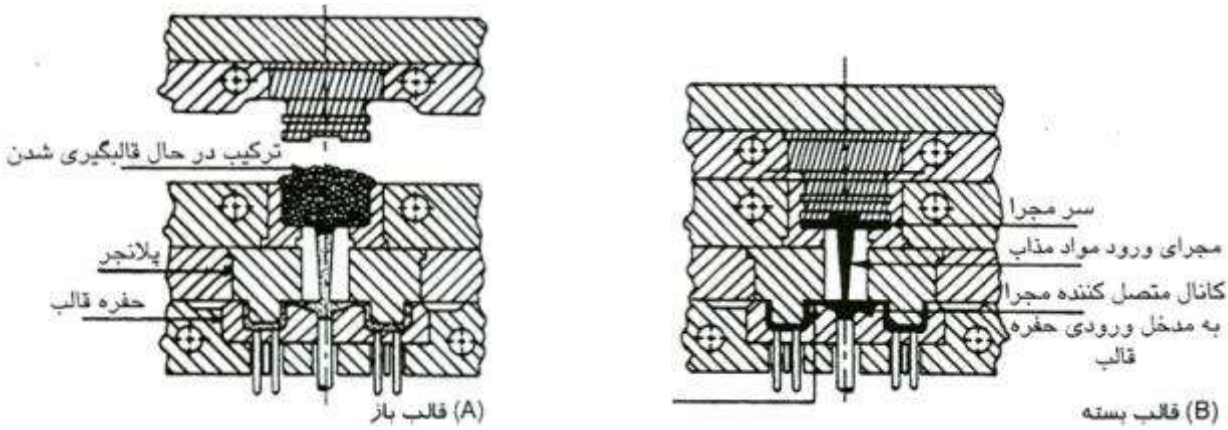
قالبهای پلانجری از این بابت با قالبهای دارای کانال واسطه متفاوت هستند که در قالبهای پلانجری، مواد پلاستیکی زیر پلانجر مستقیماً به داخل حفره های قالب رانده می شوند، در صورتی که در قالبهای دارای کانال واسطه، مواد از طریق کانال به حفره های اصلی قالب منتقل گردد. قطعات ساخته شده با قالبهای پلانجری، دور ریز کمتری دارند .

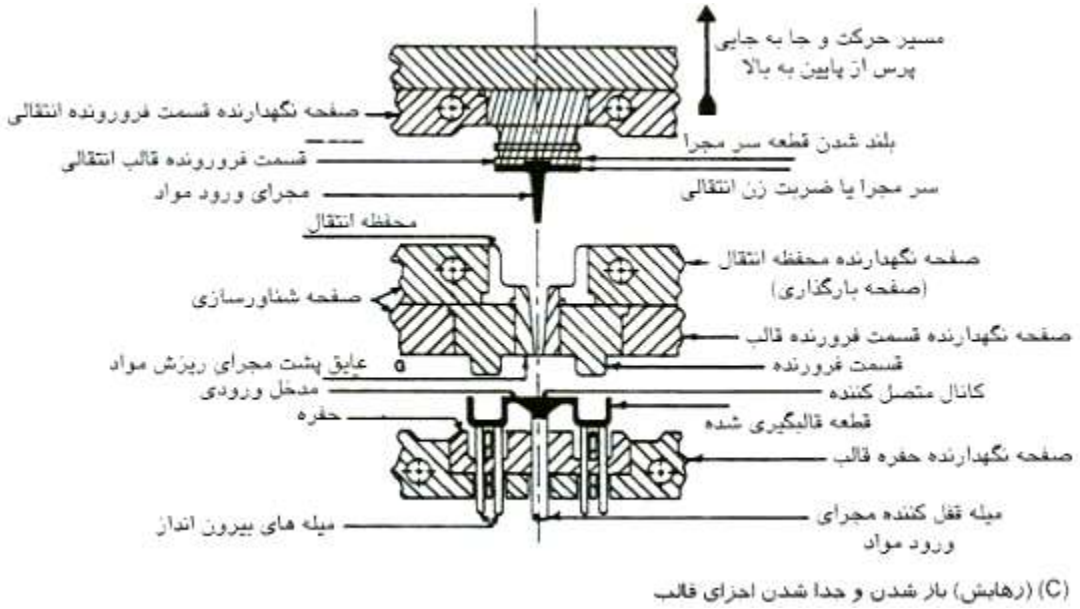


قالبگیری انتقالی با کانال واسطه (Pot Or sprue mold)



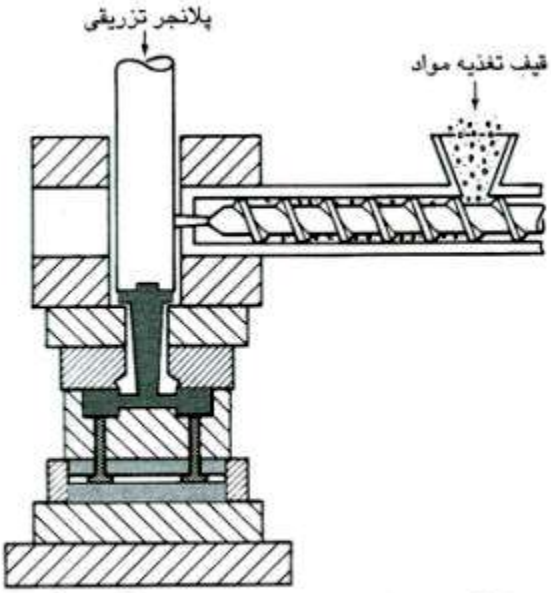
قالبگیری انتقالی پلانجری (**Plunger**)





قالبگیری انتقالی با کانال واسطه (**Sprue**) – قالب سه صفحه ای

در نوع دیگری از قالبگیری انتقالی، ماده پلاستیکی در یک پوسته جدا و توسط یک میله مارپیچ در هم آمیخته و ذوب می شود. سپس پلانجر ماده ذوب شده را به درون قالب وارد می کند.



قالبگیری انتقالی- تزریقی که در طی این فرآیند، ترکیب اکسترود شده داغ به درون حفره قالب هدایت شده و فشرده می‌شود

هزینه زیاد ساخت اجزای پیچیده قالب و دور ریز زیاد مواد که به قطعه کار چسبیده اند، دو محدودیت عمده روش قالبگیری انتقالی به شمار می رود. هرچند قطعات تولیدی به روش قالبگیری انتقالی غالباً کوچک هستند، ولی قطعات بسیار متنوع و بی شماری را می توان با این روش تولید نمود. از جمله این قطعات می توان از اجزای دوربینها، اجزای کلیدها، دکمه ها و قطعات عایق الکتریکی اشاره نمود. قطعات ساخته شده به این روش ممکن است فرمهای ساده یا پیچیده داشته باشند.

یک روش خاص از قالبگیری فشاری/انتقالی را می توان برای بازیافت پلاستیکهای زاید استفاده نمود. این روش به صورت خاص، نه مخصوص ترموستها است و نه مخصوص ترموپلاستیکها. در این روش، قطعات پلاستیکی مختلف و کثیف که جنسهای مختلفی دارند، آسیاب شده و به صورت پوسته ای در می آیند. این پوسته ها سپس وارد یک محفظه دوار می شوند

که به سرعت می چرخد. گرمای ناشی از اصطکاک بین پوسته ها و دانه های موجود در سطح داخلی محفظه باعث به هم چسبیدن پوسته ها و تبدیل آنها به یک توده پلاستیکی نسبتاً سفت می شود. البته این توده آنقدر ویسکوز است که نمی توان آن را به روش تزریقی قالبگیری نمود. اگر قطعه (که باید با این مواد پلاستیکی بازیافتی ساخته شود) بزرگ باشد، می توان توده پلاستیکی ایجاد شده را به صورت دستی به یک قالب فشاری انتقال داد، ولی اگر قطعه کوچک باشد، باید این توده مواد را وارد یک سیستم قالبگیری انتقالی نمود. در شکل زیر چرخهای پلاستیکی تولید شده با این روش نشان داده شده است.

چرخ های پلاستیکی تولید شده از بازیافت پلاستیک ها توسط فرایند قالبگیری فشاری/ انتقالی

شش مزیت و چهار عیب قالبگیری انتقالی در زیر شرح داده شده است.

مزایای فرآیند قالبگیری انتقالی:

۱- ایجاد سایش کمتر در قالب.

۲- می توان قطعات با فرمهای پیچیده (با دیواره نازک و سوراخهای کوچک) را تولید کرد. امکان کاشت قطعات فلزی در ماده پلاستیکی نیز وجود دارد.

۳- زواید و پلیسه های پیرامون قطعه کار در این روش، کمتر از قالبگیری فشاری است.

۴- چگالی قطعات ساخته شده به این روش، بیشتر و یکنواخت تر از قالبگیری فشاری است.

۵- چند قطعه کار را می توان همزمان قالبگیری نمود.

۶- زمان سیکل قالبگیری و شارژ مواد اولیه، کوتاه تر از روش قالبگیری فشاری است.

معایب فرآیند قالبگیری انتقالی

۱- زواید و پلیسه های چسبیده به قطعه کار از موضع کانالهای ورود و توزیع مواد به درون قالب، بیشتر است.

۲- قالبها و تجهیزات مورد استفاده در قالبگیری انتقالی گران تر هستند.

۳- باید محلهایی برای خروج گازها و هوای قالب در نظر گرفته می شود .

مشکلاتی که معمولاً در فرآیندهای قالبگیری فشاری و انتقالی به وجود می آید، در جدول زیر آورده شده اند.

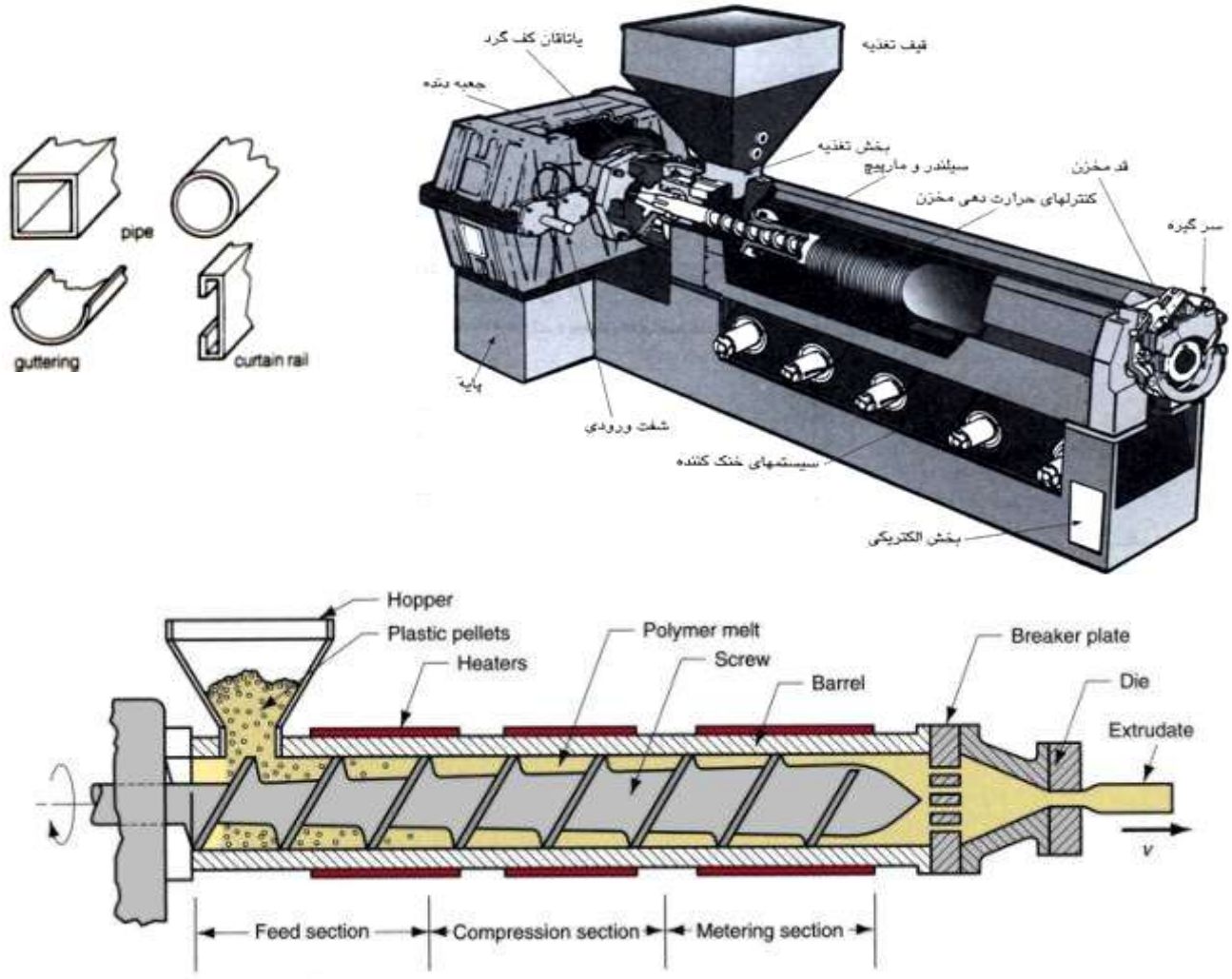
مشکلات، عیوب و نقصهای فنی مشاهده شده در فرآیند قالبگیری فشاری و انتقالی

نقص فنی	راه رفع مشکل یا راه حل
۱- ترکهایی در اطراف اتصالات کاشتنی دیده می‌شوند.	- افزایش ضخامت دیواره در اطراف اتصالات - استفاده از اتصالات کوچکتر - استفاده از مادهای با انعطاف‌پذیری بیشتر
۲- تاول زدن (Blistering)	- کاهش درجه حرارت سیکل پخت و یا کاهش دمای قالب - قالب را منفذدار کنید- قالب را هواگیری و حبابهای هوای محبوس شده در قالب را خارج کنید. - فشار قالب را بیشتر و زمان سیکل پخت را افزایش دهید.
۳- قالبگیری ناقص و متخلخل	- افزایش فشار - مادهای را که قرار است قالبگیری شود، پیشگرم کنید. - مقدارمادهٔ ورودی به درون قالب و وزن آن را بیشتر کنید. - درجه حرارت و یا زمان پخت را افزایش دهید. - قالب را منفذدار کنید تا حبابهای هوا در اثر اعمال فشار از درون قالب خارج شوند.
۴- علائم سوختگی	- مقدار پیشگرم‌سازی و دمای قالبگیری را کم کنید.
۵- چسبندگی به قالب	- درجه حرارت قالب را بالا ببرید. - برای حذف رطوبت، ماده را پیشگرم کنید. - قالب را تمیز نموده و آن را سنباده‌کاری کنید تا جلا پیدا کند. - میزان پخت را افزایش دهید. - تنظیم‌های مربوط به میله‌های ضربه‌زن یا میله‌های راهنمای خارج‌کننده قطعه از قالب را کنترل کنید.
۶- سطح به‌دست آمده پس از کنده شدن از قالب شبیه پوست پرتقال است.	- از یک نوع محکم‌تر و سفت‌تر از مادهٔ قالبگیری استفاده کنید. - ماده را از قبل گرم کنید (پیشگرم) - قالب را بآهستگی قبل از اعمال فشار بالا ببندید. - از مواد آسیاب شدهٔ نرم‌تر و ریزتر استفاده کنید. - از درجه حرارتهای قالب پایین‌تر استفاده کنید.
۷- نشانه‌های مربوط به جریان یافتن ماده از درون قالب به بیرون	- از مادهٔ محکمتری استفاده کنید. - قبل از اعمال فشار بالا، بآهستگی قالب را ببندید. - قالب را هواگیری کنید. - درجه حرارت قالب را زیاد کنید.
۸- پیچ‌خوردگی یا پیچ و تاب برداشتن	- پایهٔ نگهدارنده یا جیگ را سرد کنید و یا طرح آن را اصلاح کنید. - قالب را به طور یکنواخت‌تری حرارت دهید. - از مادهٔ سفت‌تری استفاده کنید. - میزان پخت را افزایش دهید. - حرارت را پایین بیاورید. - حرارت‌دهی و کاهش دما را در کوره انجام دهید
۹- پلیسه‌های ضخیم که از لابه‌لای شیارهای قطعات قالب به بیرون جریان یافته‌اند	- مقدار مادهٔ درون قالب را کاهش دهید. - درجه حرارت قالب را کم کنید. - فشار بالا را باز هم بیشتر افزایش دهید. - بآهستگی قالب را ببندید- هواگیری درون قالب را حذف کنید - دما را زیاد کنید. - از مواد با نوع نرم‌تر استفاده کنید. - فشار گیرهٔ نگهدارنده را افزایش دهید.

۳-۲- اکستروژن

۳-۱-۲- اصول فرایند اکستروژن

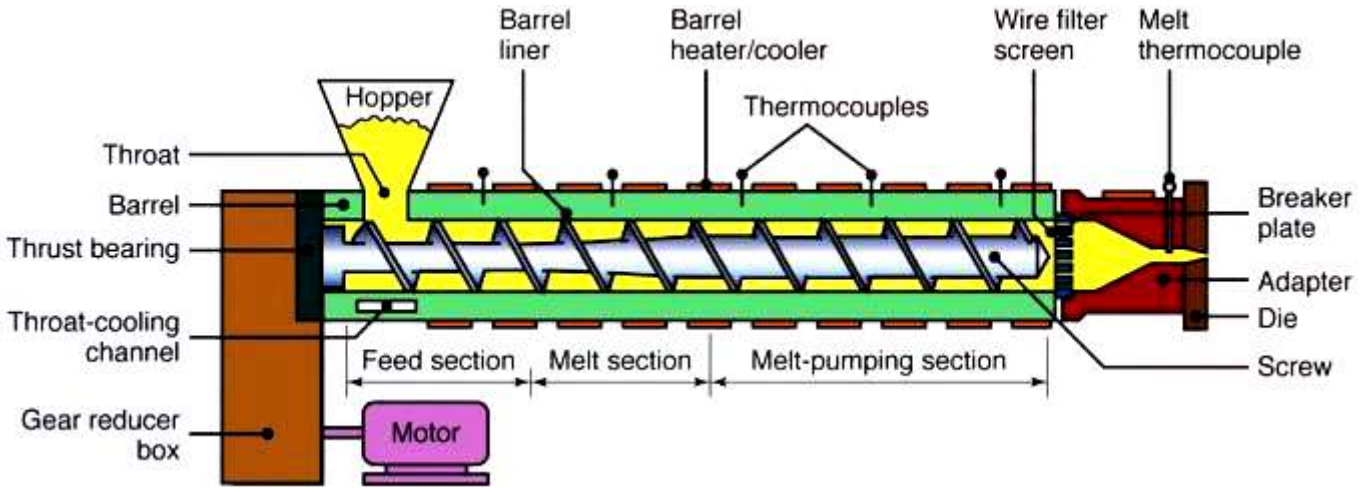
در این فرآیند ابتدا پودر خشک، قرص ها یا ساچمه های پلاستیکی را گرم نموده و سپس با فشار از میان یک نازل که در واقع همان قالب اکستروژن است عبور می‌دهند. امروزه عموماً از اکسترودرهای پیچی برای این عملیات استفاده می‌شود ولی می توان برای اکستروژن موادی مانند پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار زیاد از فشار یک سمبه با حرکت خطی نیز استفاده نمود. در این فرایند نیز مشابه تزریق پلاستیک، پیچ با حرکت دورانی خود مواد پلاستیکی را نرم و مخلوط کرده و آماده عبور از قالب می‌کند. در شکل یک نوع اکسترودر تک پیچ به همراه نمونه ای از محصولات نشان داده شده است.



اکسترودر تک پیچ

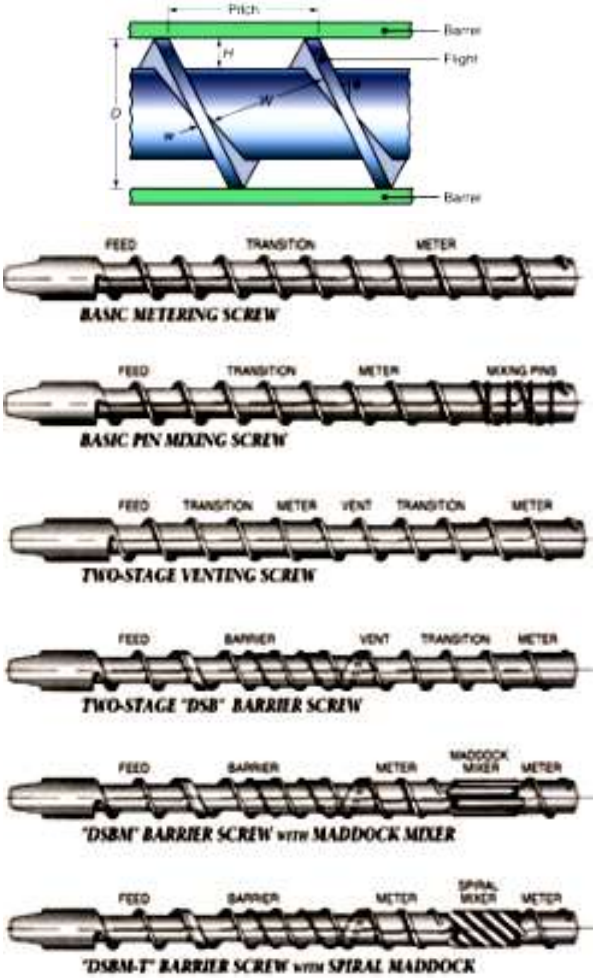
محصولات اکستروژن

قطر پیچهای مورد استفاده در این ماشین‌ها از 19mm تا 30mm تغییر می‌کند. یک پارامتر مهم در این ماشین‌ها، میزان موادی است که می توانند در هر ساعت اکسترود کنند. ظرفیت اکسترودرهای پلاستیک از 2 kg/min تا 5000 kg/min تغییر می‌کند. نسبت طول به قطر پیچ (L/D) نیز یک پارامتر مهم است. در ماشین‌های اکستروژن پلاستیک این نسبت (16/1) تا (40/1) متغییر است. پیچهای بلندتر قابلیت اختلاط بیشتری دارند.



سطح مقطع و برش عرضی از یک اکسترودر مارپیچی

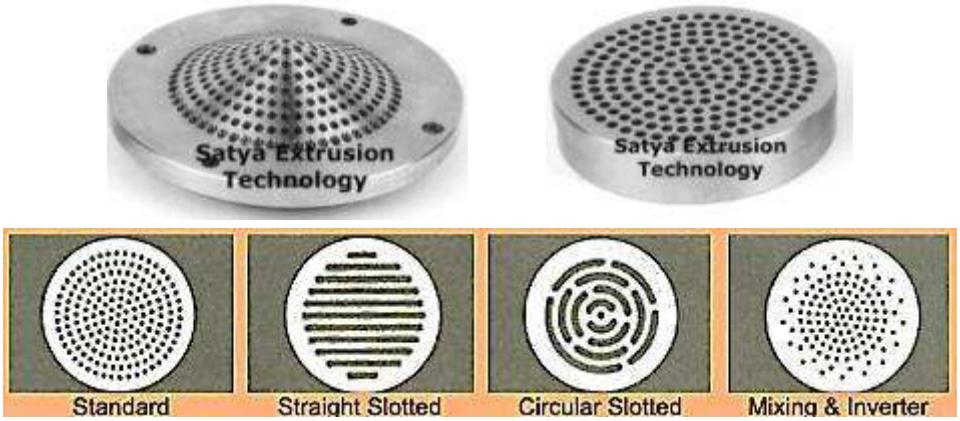
چند طرح نمونه از پیچهای این گونه ماشین‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل (۳): انواع مارپیچهای اکسترودر

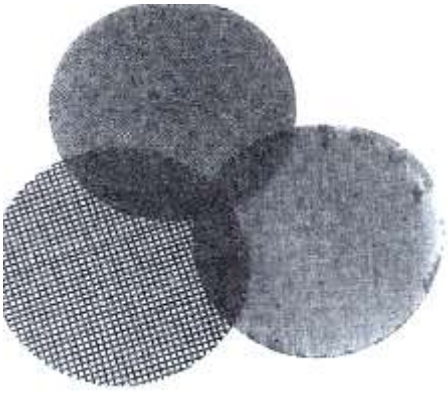
عمق شیارهای پیچ در قسمت ورودی مواد عمیق تر است تا بتواند به راحتی دانه ها یا پودر پلاستیک را به درون ماشین بکشد. در قسمت گذار (Transition) عمق شیارها کمتر است. در این قسمت، هوای موجود بین دانه ها کاملا خارج شده و مواد در هم فشرده می‌شوند. با عبور از این قسمت پلاستیک به صورت مذاب در می‌آید. در قسمت انتهایی پیچ که منطقه کنترل جریان (Metering) نام دارد، مواد پلاستیک به خوبی مخلوط می‌شوند.

در انتهای سیلندر، یک مجموعه صافی (Screen Pack) و یک صفحه مشبک (Breaker Plate) نصب می‌شود که در واقع مانند یک سد واسطه بین سیلندر و قالب اکستروژن عمل می‌کند. صفحه مشبک، وظیفه نگهداری مجموعه صافی را نیز بر عهده دارد و جریان عبور مواد را جهت دار می‌کند.



صفحه مشبک در انتهای اکسترودر

در شکل زیر چند صافی با اندازه مش متفاوت نشان داده شده است، با قرار گرفتن چند صافی بر روی هم می توان مواد خارجی موجود در پلاستیک ذوب شده را فیلتر کرد، تا از ورود این ذرات به محفظه جلوگیری شود. با گیر کردن این ذرات خارجی در روزنه های صافی، به تدریج فشار در سیلندر افزایش می یابد.



صفحات غربال با اندازه های مش متفاوت

اغلب ماشین‌های اکستروژن، مجهز به سیستم تعویض صافی هستند. رایج ترین نوع سیستم ها به صورت کشویی عمل می‌کند، یعنی با عبور دادن یک مجموعه صافی تمیز به صورت کشویی، صافی کثیف شده از طرف مقابل خارج می‌شود.

پس از عبور دادن مواد پلاستیکی ذوب شده از صافی و صفحه مشبک، پلاستیک وارد قالب می‌شود. پلاستیک با عبور از قالب شکل می‌گیرد. ساده ترین قالب اکستروژن، قالب تک سوراخ است که یک رشته پلاستیکی طویل به وجود می آورد. قطر

رشته خروجی، اندکی بیشتر از قطر روزنه ماتریس قالب است (پدیده تورم مواد). قالب های اکستروژن لوله، پروفیل و ورق نیز مواد را به فرم های مورد نظر درمی آورند. توصیه می‌شود قالب های اکستروژن از فولادهای کرم-مولیبدن ساخته شوند.

در پیرامون سیلندر، گرمکن های الکتریکی نصب می‌شود تا به ذوب شدن پلاستیک کمک کند. وقتی پلاستیک وارد سیلندر شده و با گردش پیچ به طرف جلو رانده می‌شود، در اثر به هم خوردن مواد در تماس با پیچ، بدنه سیلندر و در اثر عبور از صفحه مشبک آنقدر اصطکاک وجود دارد که می تواند مواد پلاستیکی را تا حد زیاد نرم کرد.

گرمکن های الکتریکی وظیفه تثبیت دمای پلاستیک درون سیلندر را به عهده دارند. ماده پلاستیکی فرم دار پس از خروج از قالب هنوز به صورت مذاب می‌باشد و لازم است از تجهیزات مناسبی برای سرد کردن و هدایت آن استفاده کرد. برای خنک کردن معمولا از روش غوطه ور در آب یا پاشش آب استفاده می‌شود. پس از خنک کردن پلاستیک فرم دار، با به کار گیری ادواتی مانند بازوهای کشش، تیغه برش (Chopper) و قرقره های گردان می توان آنرا به نحو مناسبی هدایت و جمع آوری کرد. این ادوات همچنین می توانند سرعت خروج پلاستیک اکسترود شده را نیز کنترل کنند.

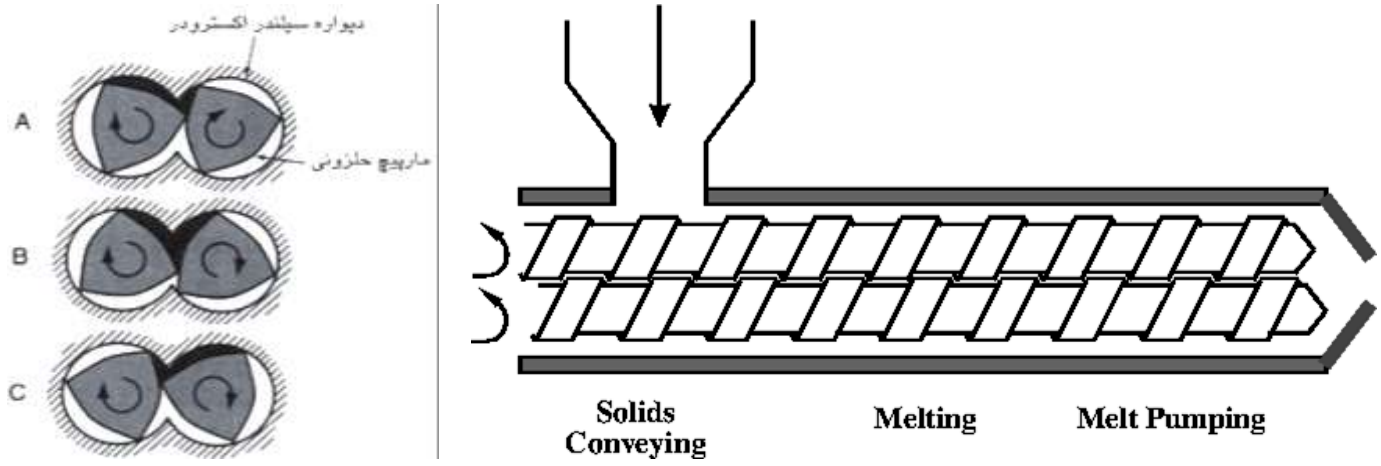
امروزه معمولا از ماشین‌های با مارپیچ دوبل (Twin-Screw) برای این عملیات استفاده می‌شود. ماشین‌های ترکیب مواد پلاستیکی با مارپیچ دوبل، دو نوع هستند:

۱- ماشین با پیچ های همسو (Co-Rotating)

۲- مارپیچ با پیچ های غیرهمسو (Counter Rotating)

در ماشین‌هایی با پیچ همسو، مواد به فضایی که بین پیچ ها وجود دارد، وارد می‌شود و در این ناحیه به خوبی مخلوط می‌شود. البته ممکن است مقداری از این مواد نیز بدون عبور از این فضای کوچک از داخل سیلندر به جلو حرکت کند.

در ماشین‌های با پیچهای غیرهمسو، مواد بر روی شیارهای پیچها، یک حرکت شبیه ∞ انجام می‌دهد و به تدریج رو به جلو نیز حرکت می کنند. در این روش مواد مسیر طولانی تری را طی کرده و نسبت به روش قبلی بهتر مخلوط می‌شوند. در شکل زیر جابجایی مواد در ماشین‌های با پیچ های همسو نشان داده شده است.



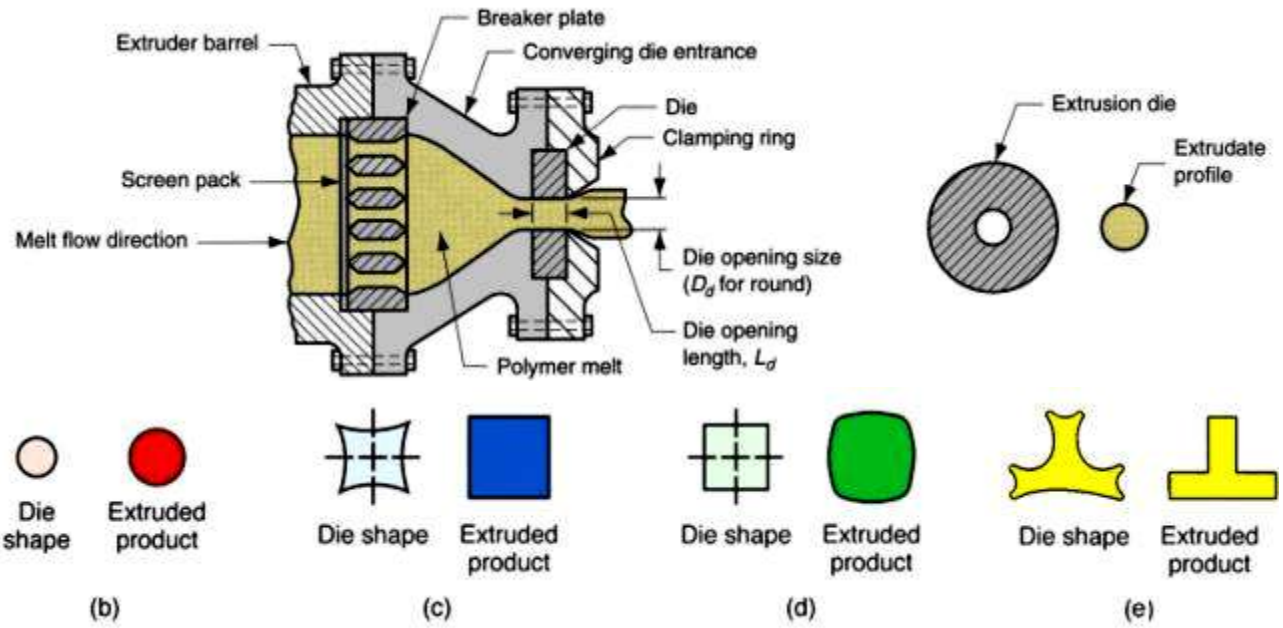
ماشینهای اکسترودر با مارپیچ های دوقلوی همسو

یک ماشین اکسترودر با مارپیچ دوقلو

درصورتی که در مسیر عبور پلاستیک مذاب در دهانه قالب تغییر مقطع ناگهانی (باریک شدن ناگهانی) وجود داشته باشد در جریان مذاب تلاطم و اغتشاش بوجود می‌آید و در نتیجه آن عیوب مختلفی در محصول ممکن است بوجود آید. در شکل زیر دو عیب پوسته کوسه ای شدن (Sharkskin) و بامبوای شدن (Bambooing) ناشی از عامل فوق الذکر نشان داده شده است.

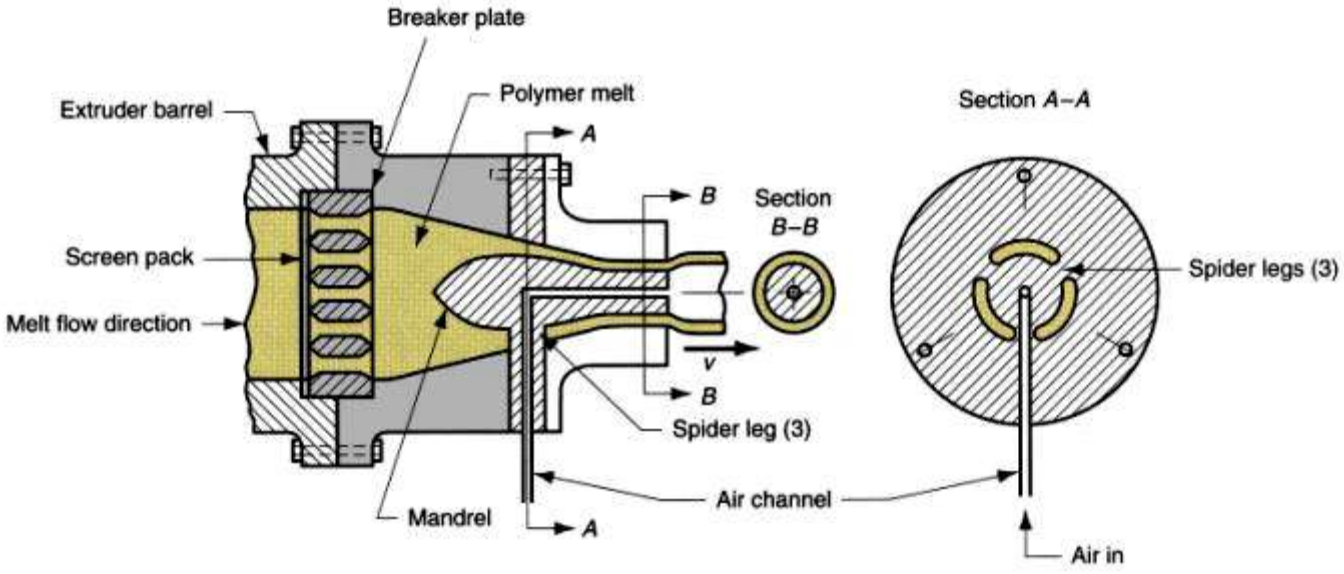
تصویر سمت راست عیب پوسته کوسه ای شدن (Sharkskin) و تصویر سمت چپ بامبوای شدن (Bambooing)

محصولات تولید شده توسط فرآیند اکستروژن عبارتند از انواع پروفیل ها ، لوله ها و ورق های پلاستیکی. معمولا پرفیل ها به صورت افقی اکسترود می‌شوند و قطعه کار به هنگام خنک کردن باید با به کار گیری تجهیزات خاصی، به طور مناسب هدایت شده و فرم نهایی را به خود بگیرد. خنک کردن محصول پس از خروج از قالب با جریان هوا، کانال آب، پاشش آب و جداره های خنک کننده امکان پذیر است. کنترل فرم پروفیل پلاستیکی دشوار است. وقتی ماده پلاستیکی از قالب خارج می‌شود، معمولا ورم می‌کند. مولکولهای پلیمر به هنگام عبور از قالب جهت دار می‌شوند، ولی وقتی از قالب بیرون می‌آیند این مولکولها در هم پیچیده می‌شوند و به همین دلیل فرم قطعه کار تغییر می‌کند. برای تولید پروفیل با سطح دلخواه و ابعاد دقیق ، باید فرم روزنه قالب تا حدی با فرم قطعه کار متفاوت باشد. در سطح مقطع های پیچیده با دیواره های نازک و گوشه های تیز، این قسمتها سریعتر خنک می‌شوند و بدین ترتیب این قسمتها کوچکتر از بقیه قسمتها خواهند شد، بنابراین طول این قسمتها در قالب باید بزرگتر در نظر گرفته شود.



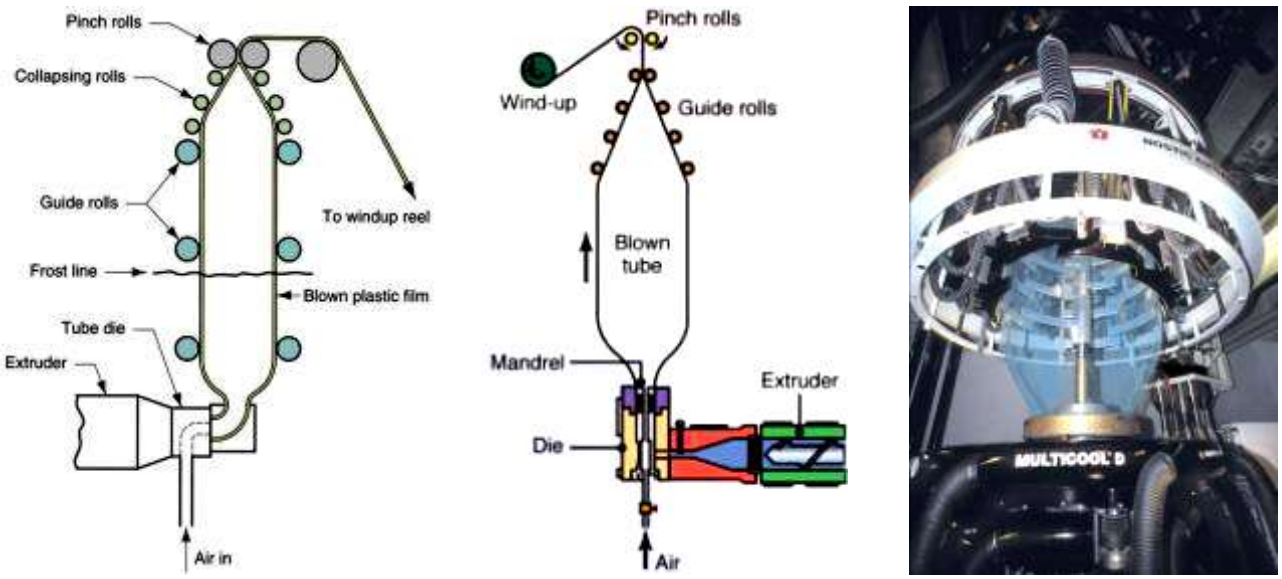
روابط میان روزنه های قالب و قطعات اکسترود شده

برای تولید لوله های پلاستیکی از یک قالب با سوراخ دایره ای (برای فرم دادن سطح خارجی لوله) و یک ماندرل (برای فرم دادن سطح داخلی لوله) استفاده می‌شود. ماندرل با تیغه های نازکی (Spiders) به بدنه قالب متصل می‌شود. قطر لوله توسط مکانیزم کشش (که لوله را از قالب بیرون می کشد) کنترل می‌شود. اگر لوله با سرعتی بیشتر از سرعت خروج مواد از قالب کشیده شود، قطر لوله کمتر و ضخامت دیواره آن نیز کمتر خواهد شد. برای جلوگیری از تغییر فرم لوله و فروریختن مواد پلاستیکی نرم پس از خروج از قالب، هوا به داخل لوله دمیده می‌شود. انتهای لوله درگیر کشش، بسته شده و از داخل قالب، هوای فشرده به داخل لوله وارد می‌شود. البته این فشار هوا باعث انبساط کمی در لوله می‌شود. گاهی اوقات لازم است لوله را از داخل یک حلقه سایزینگ عبور دهند تا قطر خارجی لوله به ابعاد دلخواه برسد. ضخامت لوله با توجه به قطر ماندرل و دهانه ماتریس تعیین می‌شود.



عملیات شکل دهی لوله، ماده داغ در اطراف ماندرل اکسترود می‌شود.

روش تولید کیسه های پلاستیکی (فیلم پلاستیکی نازک) هم مشابه تولید لوله است با این تفاوت که در اثر دمش هوا و نازک بودن پلاستیک، انبساط زیادی در آن بوجود می‌آید.

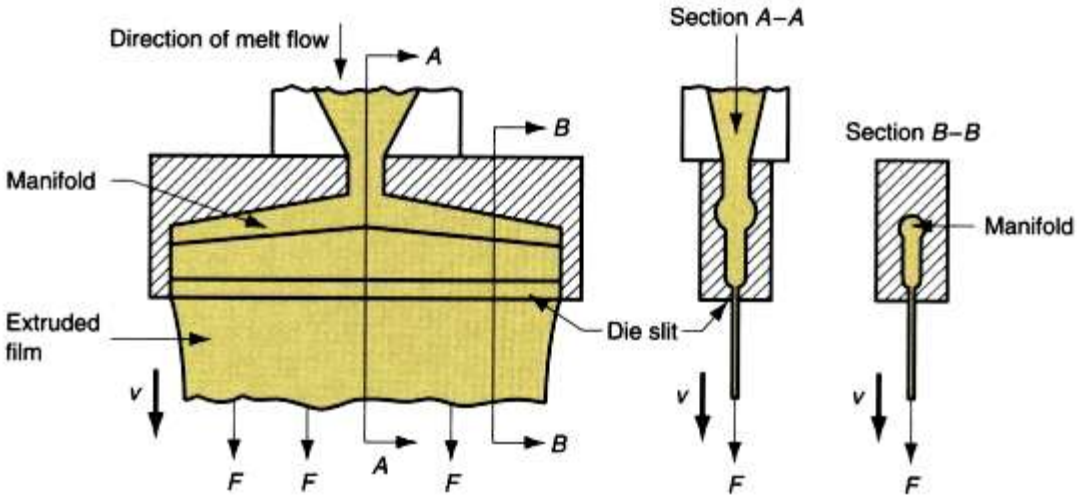


عملیات شکل دهی کیسه های پلاستیکی (فیلم پلاستیکی نازک)

۳-۱-۲- تولید ورق های پلاستیکی

۳-۱-۴-۳- اکستروژن ورق های پلاستیکی

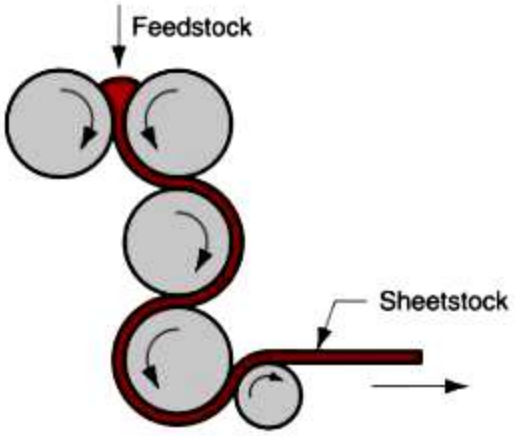
ورق های پلاستیکی را به روش اکستروژن مطابق شکل شماتیک زیر می توان تولید کرد.



اکستروژن ورق های پلاستیکی

۳-۱-۴-۴- تولید ورق های پلاستیکی با غلطک زنی (Calendaring)

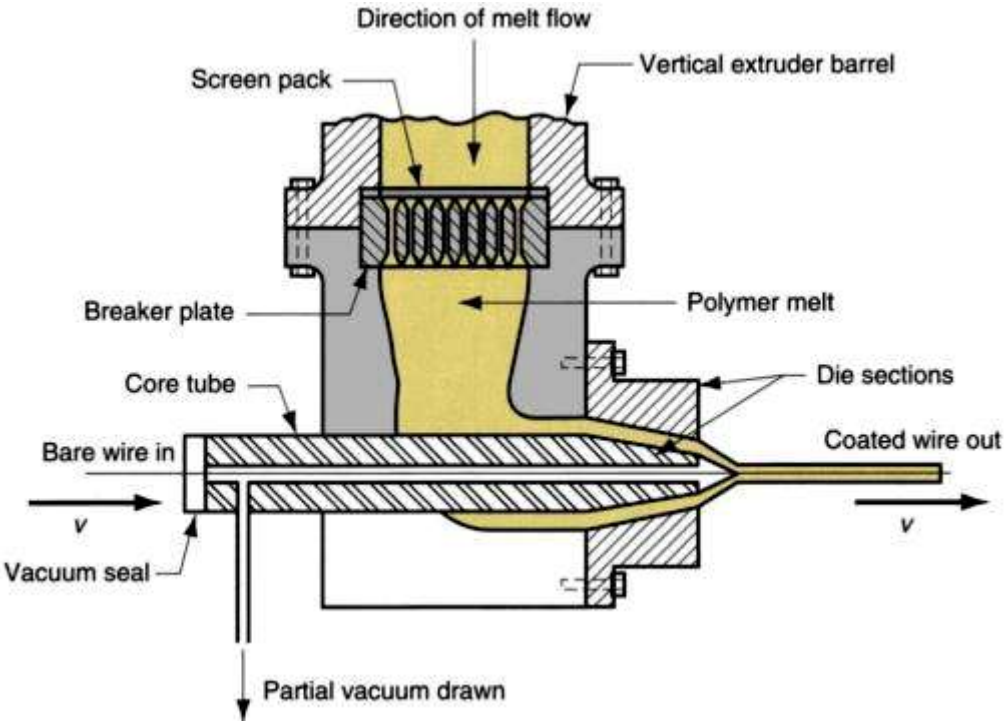
این روش دارای نرخ تولید بسیار بالا است ولی تجهیزات مورد نیاز این روش بسیار گران قیمت است. ورق های تولیدی با این روش دارای صافی سطح بسیار عالی و دقت ابعادی خیلی خوب می‌باشند. از این فرایند برای تولید کفپوش های PVC و انواع پوشش های رومیزی استفاده می‌شود.



غلطک زنی ورق های پلاستیکی

۳-۱-۲- پوشش دادن قطعات با اکستروژن

در این روش یک لایه نازک از پلاستیک مذاب بر روی قطعه کار اصلی نشانده می‌شود، بدون آنکه برای این کار از چسب استفاده شود. این عمل با عبور دادن قطعه اصلی و پوشش پلاستیکی از بین غلتکهایی که آنها را به هم فشار می‌دهند، صورت می‌گیرد. سیمهای فلزی را نیز می توان به این روش پوشش کاری نمود. مکانیزم پوشش کاری سیمها در شکل زیر نشان داده شده است. با عبور پیوسته سیم داخل قالب، پوششی از پلاستیک مذاب آن را در بر می‌گیرد.



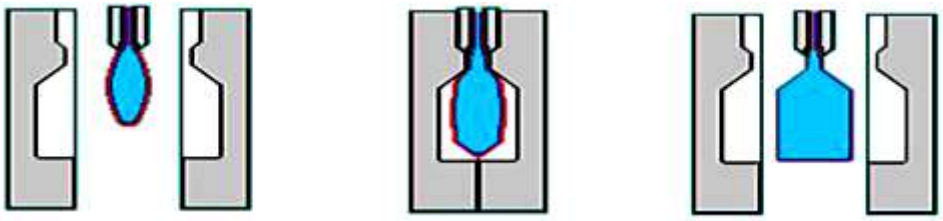
اکستروژن پوشش سیم و کابل

قالب در واقع فرم پوشش پلاستیکی را بر روی سیم مشخص می‌کند. قبل از ورود سیم، قالب معمولا گرم می‌شود تا رطوبت احتمالی سطح آن نیز از بین برود و چسبندگی پوشش بر روی سیم را تضمین کند. با خروج سیم پوشش داده شده با پلاستیک از قالب صلیبی (Cross Head Die) وارد یک مخزن آب می‌شود تا پلاستیک به حالت جامد درآید. کابل ها و سیم های الکتریکی را به این روش پوشش کاری می کنند.

۳-۳- قالب‌گیری بادی

۳-۱-۲- اصول فرایند قالب‌گیری بادی

در فرآیند (Blow Molding) یک لوله یک سربسته پلاستیکی مذاب (که به آن Parison می‌گویند) تهیه و آن را در داخل محفظه قالب قرار می‌دهند و سپس قالب بسته شده و 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.



فرآیند قالبگیری بادی

بسیاری از بطریها، ظروف، اسباب بازیها، قطعات خودرو و قطعات لوازم خانگی به این روش تولید می‌شوند. پلاستیک هایی که معمولاً در این فرایند مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: HDPE (بطری های سفت)، LDPE (بطری های نرم)، PP (بطری های مقاوم به حرارت)، PVC (بطری های شفاف و ظروف مقاوم در برابر مواد نفتی)، PET و Nylon (مخزن آب خودرو، مخزن روغن هیدرولیک فرمان).

محصول فرآیند قالبگیری بادی

قالب‌گیری بادی به دو روش اصلی انجام می شد :

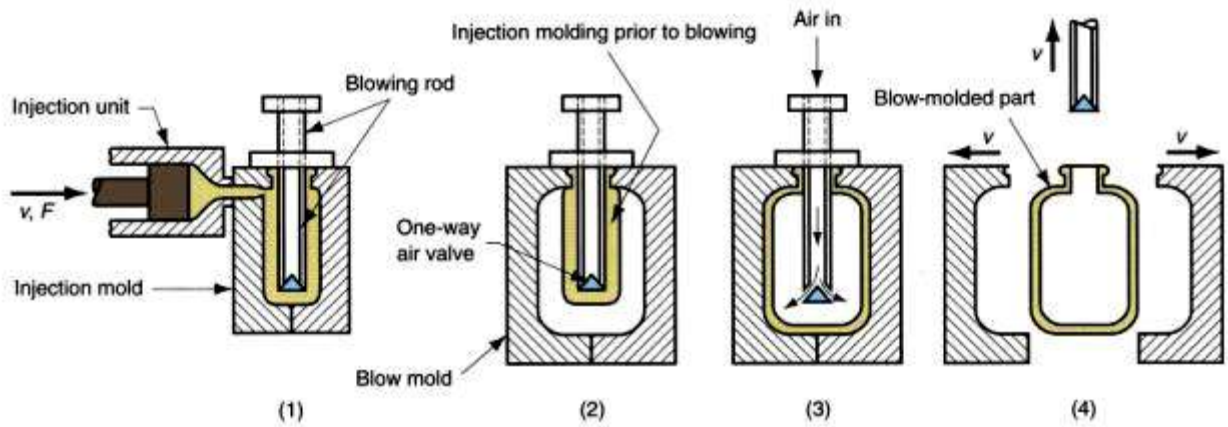
۱- قالب‌گیری تزریق بادی

۲- قالب‌گیری اکستروژن بادی

تفاوت این دو روش به نحوه ساخت لوله پلاستیکی بستگی دارد.

۳-۱-۲- قالبگیری تزریق بادی

قالبگیری تزریق بادی (Injection Blow Molding) یک روش دقیق در ساخت قطعات تو خالی پلاستیکی است، به طوری که می توان ضخامت قطعه کار در نواحی مختلف را به خوبی کنترل کرد و همه قطعات تولیدی دارای ضخامت یکسان خواهند بود. در این روش زائده انتهایی در قطعه کار باقی نمی‌ماند که لازم باشد با یک عملیات آن را حذف کرد.



قالبگیری تزریق بادی

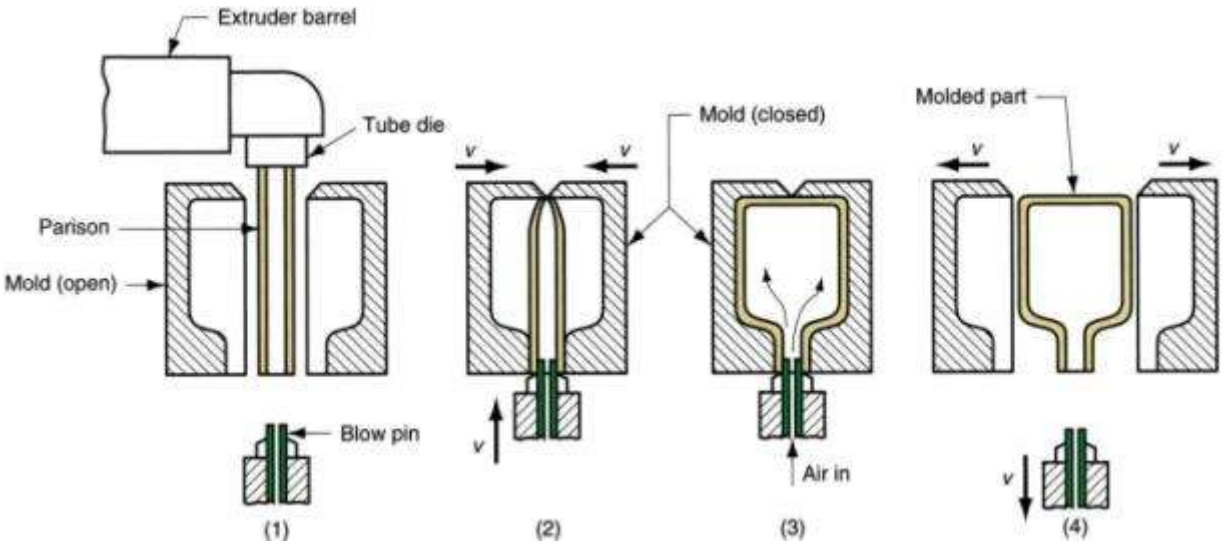
عیب مهم این روش این است که برای تولید قطعات لازم است دو دست قالب ساخته شود، که یکی برای تولید پیش فرم (به روش تزریق) و دیگری برای تولید قطعه نهایی (به روش قالبگیری بادی) به کار می روند.

قطعه کار پیش فرم (Parison) را گرم کرده و در قالب بادی قرار می‌دهند. سپس هوای فشرده را به درون پیش فرم وارد کرده تا منبسط شده و به دیواره های قالب بچسبد. این روش را قالب‌گیری بادی انتقالی نیز می نامند زیرا پیش فرم را باید به قالب اصلی منتقل کرد.

۳-۱-۲- قالب‌گیری اکستروژن بادی

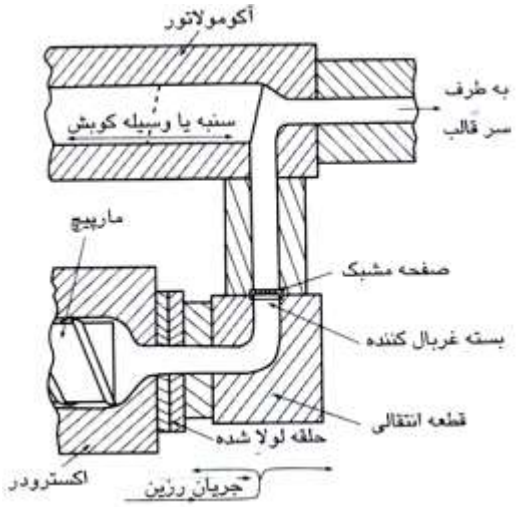
در این روش (Extrusion Blow Molding) ، یک لوله از پلاستیک مذاب از بالای قالب اکسترود شده و به داخل قالب وارد می‌شود. در این حالت دو نیمه قالب بسته شده و انتهای باز لوله نیز بسته می‌شود.

ورود هوای فشرده به داخل لوله پلاستیکی باعث انبساط آن و چسبیدن به دیواره قالب می‌شود. پس از سرد شدن، قطعه کار را می توان از قالب خارج کرد. قالب‌گیری اکستروژن بادی یک روش تولید قطعات پلاستیکی بدون تنش و در تیراژ بالا است.



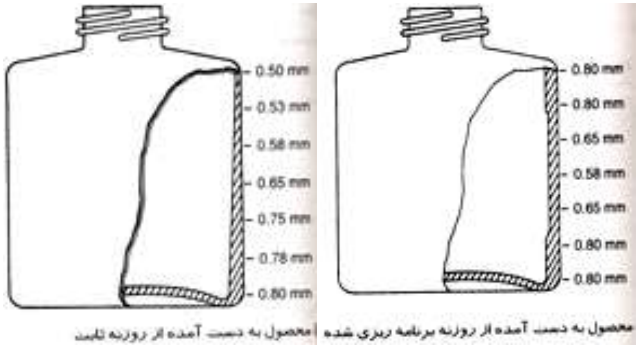
فرایند قالبگیری بادی به روش اکستروژن

در شکل زیر پلاستیک داغ ابتدا به داخل یک آکومولاتر شده و سپس با فشار به داخل قالب رانده می‌شود. وقتی از پلانجر برای اکستروژن لوله پلاستیکی استفاده می‌شود، می توان طول لوله را به خوبی کنترل کرد. در سیکل بعدی، ابتدا آکومولاتر پر شده و سپس عمل اکستروژن انجام می‌شود.



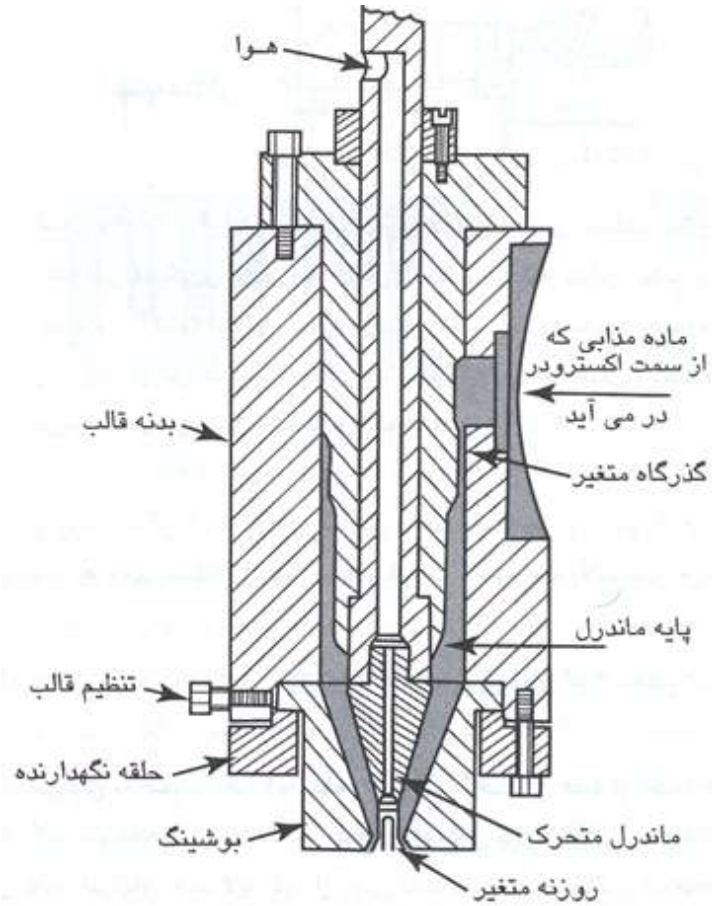
قالبگیری بادی به روش اکستروژن به کمک سنبه (پلانجر)

مشکل کنترل کردن ضخامت دیواره قطعه کار، بزرگترین عیب این روش قالب‌گیری اکستروژن بادی است. با کنترل ضخامت لوله اکسترود شده در قسمت های مختلف، می توان از کاهش ضخامت ناخواسته قطعه کار در بعضی از قسمتها جلوگیری کرد. در تولید ظرف های خیلی بزرگ که استحکام گوشه های آن اهمیت داشته باشد، ضخامت لوله اکسترود شده باید در گوشه های قطعه کار خیلی ضخیم تر باشد. کنترل ضخامت لوله اکسترود شده در قسمت های مختلف را اصطلاحاً برنامه ریزی لوله می‌گویند.



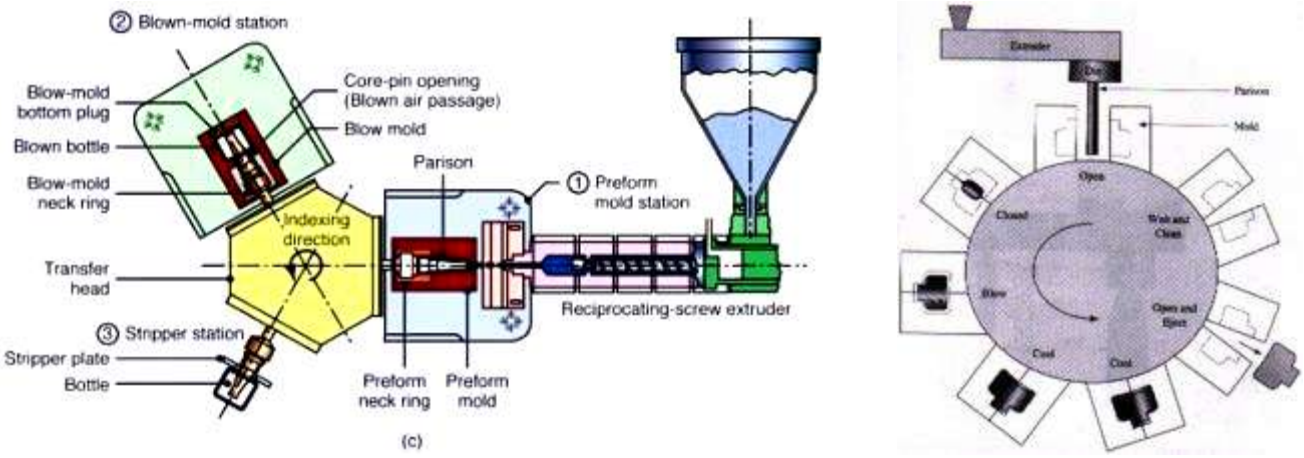
برنامه ریزی پاریسون با روزنه قالب متغیر

ضخامت لوله را می توان کنترل کرد تا متناسب با فرم هندسی قطعه کار باشد. در صورتی که روزنه اکستروژن قابل تغییر باشد می توان این کار را انجام داد (شکل زیر). در این روش قالب‌گیری بادی می توان از مواد کامپوزیتی از نوع الیاف، دانه ای و صفحه ای نیز استفاده کرد. با به کار گیری الیاف کوتاه می توان انواع محصولات پلاستیکی تقویت شده را به این روش بالا تولید کرد.



قالب اکستروژن به کار رفته برای برنامه ریزی پاریسون

برای افزایش سرعت تولید می توان به طور همزمان چند قالب بادی را با یک اکسترودر تغذیه کرد (مطابق شکل زیر).



مزیت های فرآیند قالب‌گیری بادی عبارتند از :

۱- اغلب ترموپلاستیکها و بسیاری از ترموستها را می توان در این فرآیند به کار برد.

۲- هزینه قالبهای این فرآیند، کمتر از قالب‌گیری تزریق است.

عیوب فرآیند قالب‌گیری بادی به شرح زیر است :

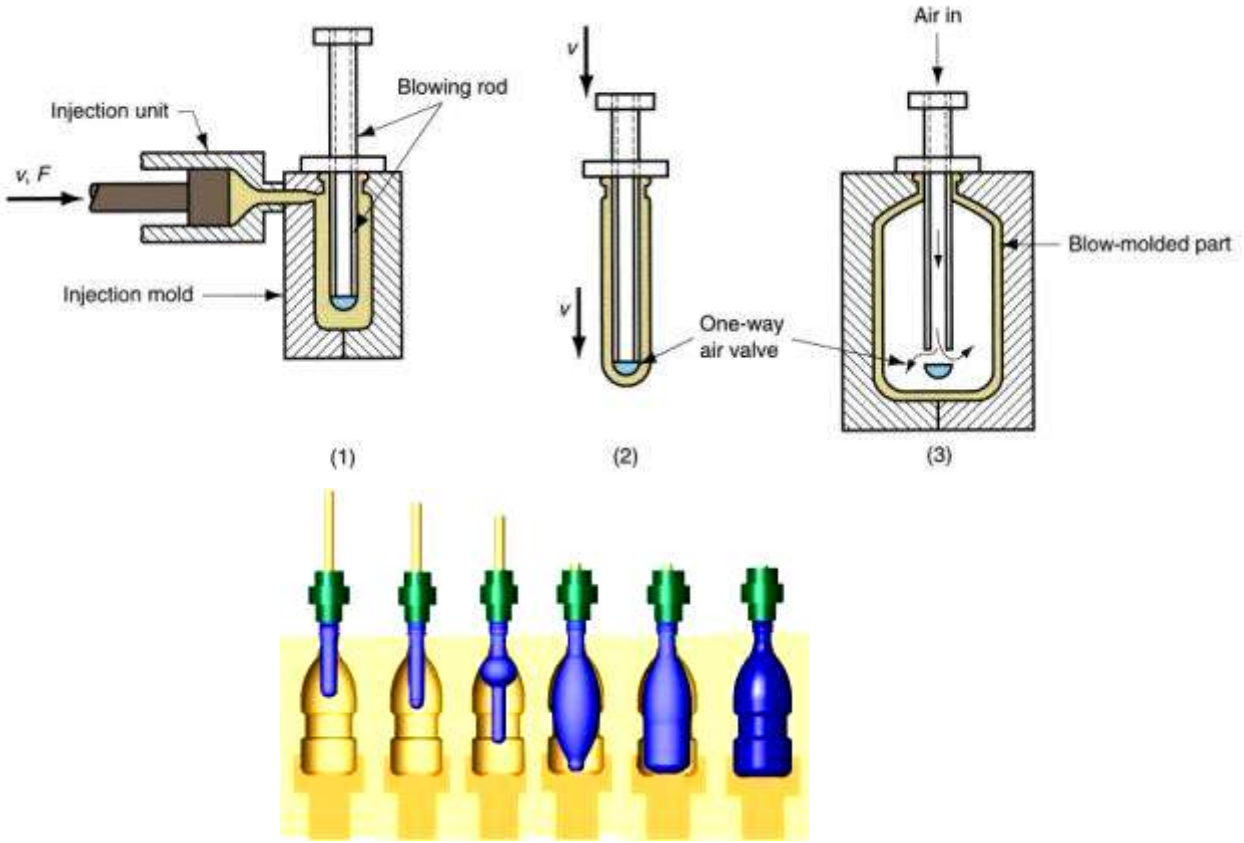
۱- هزینه تامین ماشین آلات اصلی و جانبی بالا است.

۲- مقداری ضایعات پلاستیکی طی این فرآیند تولید می‌شود.

۳- تنوع شکل محصولات و فرم لوله اکسترود شده محدود است.

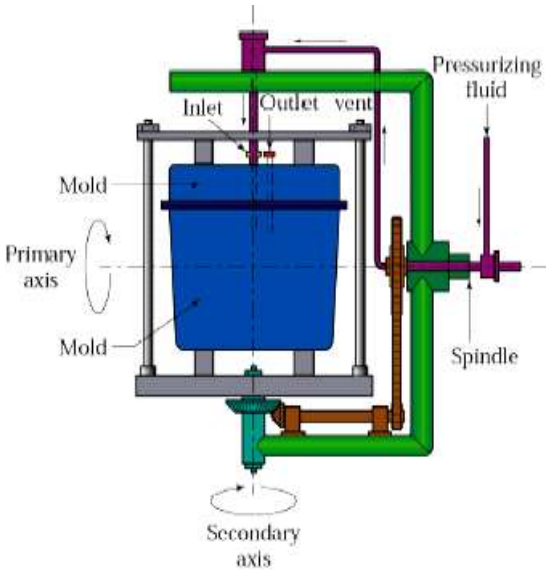
۳-۱-۲- قالب‌گیری بادی کششی (Stretch Blow Molding)

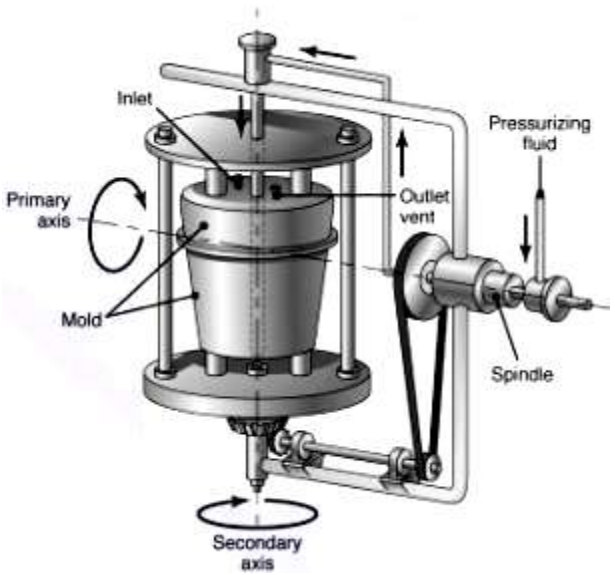
این روش کاملاً مشابه روش قالبگیری تزریقی بادی است با این تفاوت که پیش فرم تولید شده از روش تزریق پیش از ورود به قالب بادی با اعمال نیرو از طرف میله میانی دچار افزایش طول می‌شود (مرحله ۲ در شکل زیر). این کشیدگی در پیش فرم موجب بهبود خواص مکانیکی محصول نهایی خواهد شد. بدین ترتیب محصول نهایی استحکام، شفافیت و مقاومت به ضربه بالاتری خواهد داشت. از این روش عموماً برای قالبگیری بادی پلی اتیلن ترفتالات (PET) استفاده می‌شود.



۳-۴- قالبگیری دورانی

قالبگیری دورانی مانند قالبگیری بادی برای ساخت قطعات پلاستیکی توخالی به کار می رود اما این دو در اصل کاملا متفاوت هستند. در قالبگیری دورانی مقدار معینی از پودر پلاستیک را با وزن مشخص روی نیمه قالب فلزی قرار داده، دو نیمه قالب را به یکدیگر جفت می کنند و آن را در داخل کوره ای حرارت می دهند. در اثنای گرم کردن، قالب حول دو محور عمود بر یکدیگر می‌گردد. پس از مدتی پلاستیک کاملا نرم شده و لایه ای کاملا یکنواخت روی سطح داخلی قالب ایجاد می کند. آنگاه آن را درحالتی که کماکان می چرخد سرد می کنند. آخرین مرحله عملیات، تخلیه قطعه از قالب است.

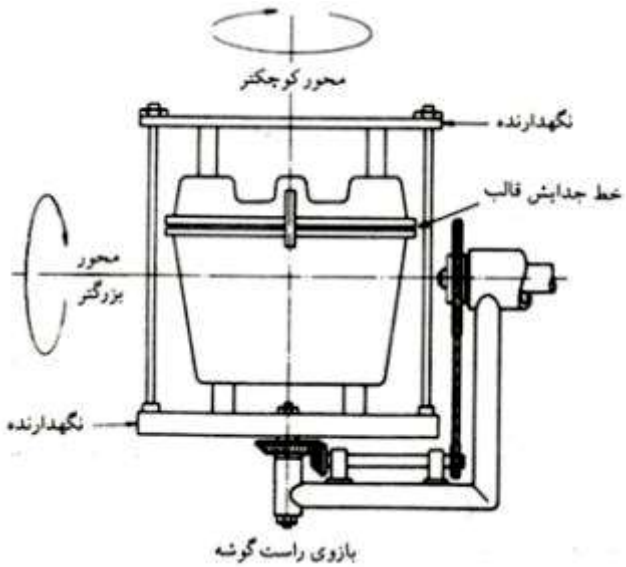




امروزه مواد مختلفی مثل نایلون، پلی کربنات، اکریلونیتریل و پلی استایرن به این روش قالبگیری می شود. اگر چه هم اکنون رایج ترین ماده مورد استفاده پلی اتیلن است، این روش به دلایل متعددی جذاب و مورد توجه است. اولا چون عملیات، تحت فشار کم صورت می گیرد و قالبهای مورد استفاده ساده و نسبتا ارزان است. همچنین قطعات قالبگیری شده ضخامت بسیار یکنواختی دارد و می تواند توام با استحکام دهنده بکار رود. این قطعات کاملا فاقد کرنش هستند و سطح آنها را می توان منقوش کرد. کاربرد این روش قالبگیری روز افزون است زیرا اگر چه سرعت عملیات نسبت به قالبگیری بادی و تزریقی کندتر است ولی می توان بکمک آن، قطعات بسیار بزرگ با دیواره ضخیم را که از نظر اقتصادی تهیه آن با روش دیگر مقرون به صرفه نیست تولید کرد. دیواره با ضخامت 10mm هیچ مشکلی برای قطعات قالبگیری شده به این روش پدید نمی آورد. به طرق مختلف برای مراحل فوق عملیات قالبگیری چرخشی انجام می شود. به عنوان مثال در برخی حالات (به ویژه قطعات خیلی بزرگ) تمامی عملیات در داخل کوره انجام می شود.

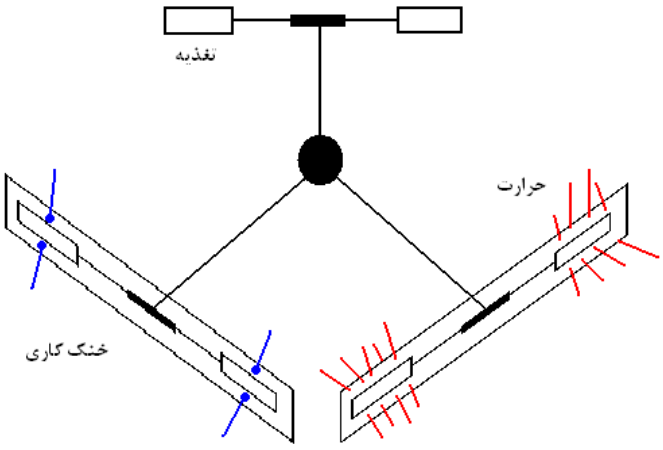
قطعات تولید شده به روش قالبگیری دورانی

در شکل های زیر روش بسیار متداولی نشان داده شده است. قالب در انتهای بازویی قرار دارد که نخست قالب سرد حاوی پودر پلیمر را در کوره داغ وارد می کند. در اثنای حرارت دادن قالب حول دو محور بزرگ (یعنی بازو) و محور خودش (محور کوچک) چرخش می کند.



چرخش در سیستم دارای بازوی راست گوشه

پس از مدت زمان معین، بازو را به داخل محفظه خنک کن منتقل می کند. سرعت سرد شدن خیلی مهم است. بدیهی است هر چه سریعتر خنک شود از نظر اقتصادی مطلوب تر است. ولی ممکن است مشکلاتی نظیر در هم پیچیدگی (Warping) برای قطعه ایجاد شود. معمولاً قالب نخست به روش دمش و وزش هوای خنک کمی سرد می شود و سپس با پاشیدن آب آنرا کاملا سرد می کنند. سرعت خنک کردن بر کیفیت محصول تاثیر بسزایی دارد. همانطور که در شکل زیر دیده می شود معمولا وقتی یکی از سه بازو (که قالبها را نگه داشته است) حرارت می بیند دومی در حال خنک شدن است و روند به همین ترتیب ادامه می یابد.



عملیات قالب گیری دورانی در سه ایستگاه

در قالبگیری دورانی سرعت چرخش معمولا زیر ۲۰ دور بر دقیقه و نسبت سرعت حول محور بزرگ به محور کوچک معمولا ۴:۱ است.

درجه حرارت مورد استفاده معمولا بین ۴۵۰ – ۲۵۰ درجه سانتی گراد است. حرارت مورد نیاز در قالبهای دورانی با اشعه مادون قرمز، سیال داغ، شعله گاز یا جابجایی هوای داغ تامین می شود که مورد اخیر متداول ترین آنها است. در این فرایند دوران ملایم است تا مذاب به آرامی و به صورت سیال تمام قالب را پر کند و در هنگام خنک کاری از بیرون به داخل پوسته جامد می شود.

ضخامت قطعات تولید شده ثابت است، (برخلاف روش قالبگیری بادی) و قطعات تولید شده به این روش دارای حداقل تنش هستند زیرا فشار عملیاتی کم است. در بدنه قالب می توان قطعات اینسرتی مانند فلنچ یا رزوه جاگذاری کرد.

۳-۵- شکل دهی تحت حرارت (Thermo Forming)

در این روش ورقه های ترموپلاستیک در ابتدا گرم و نرم شده و سپس شکل داده می شوند. معایب این روش عبارتند از :

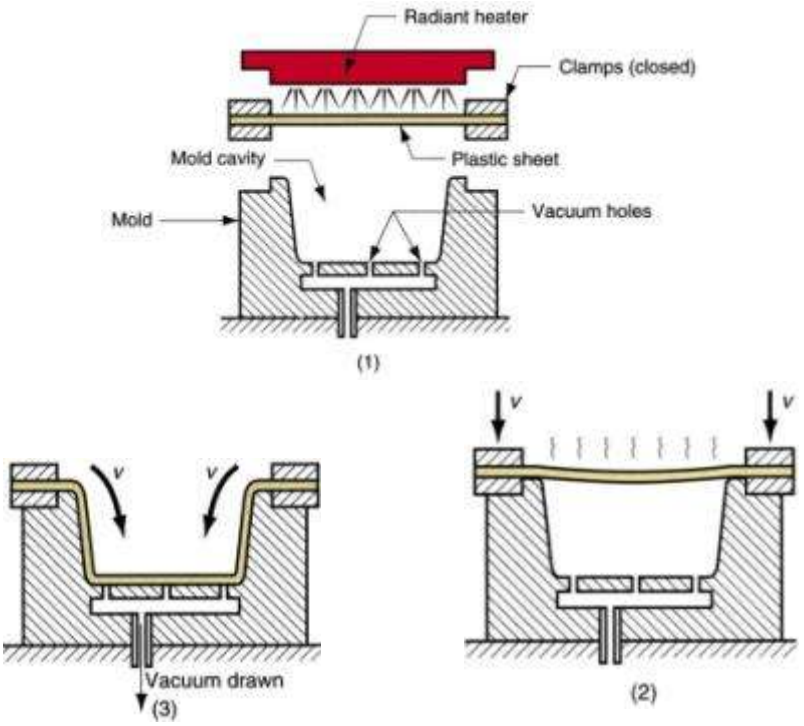
۱- تغیرات ضخامت

۲- دور ریز مواد اضافی اطراف ورق

اگر چه بیشترین کاربرد این روش در صنعت بسته بندی (Packaging) می باشد دامنه وسیعی از محصولات دیگر نیز توسط این روش تولید می گردند. این محصولات شامل لایه دیواره داخلی یخچالها، پنل های الکتریکی و غیره می باشند.

۳-۱-۲- شکل دهی حرارتی تحت مکش (Vacuum forming)

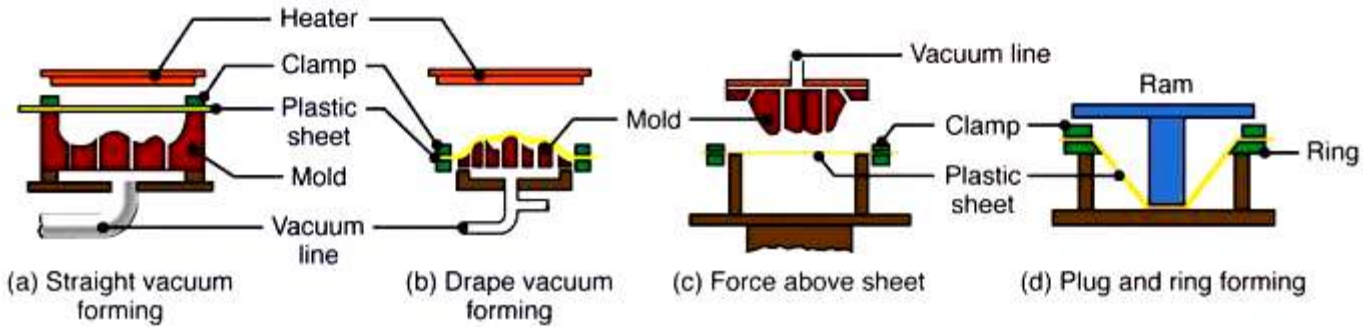
در این فرآیند ورقه ترموپلاستیک گرم شده و سپس با کاهش فشار هوا بین ورقه و قالب شکل داده می شود. شکل زیر روش فرم دهی تحت مکش را نشان می دهد.



شکل دهی تحت مکش

این روش از نوع شکل دهی منفی (قالب مادگی) می باشد و عمق کشش یک سوم تا یک چهارم پهنای ورق می باشد. در این حالت یک ورقه پلاستیک با ضخامت بین ۶,۵ – ۰,۰۲۵ میلی متر بر روی قالب باز، موقعیت دهی و محکم می شود. سپس گرم کننده صفحه ای بالای ورق قرار گرفته و هنگامی که نرمی کافی در ورق رخ داد، گرم کننده به عقب رفته و عمل مکش انجام می شود. در ورقهای ضخیم ضروری است از هر دو طرف ورق گرمادهی انجام گیرد.

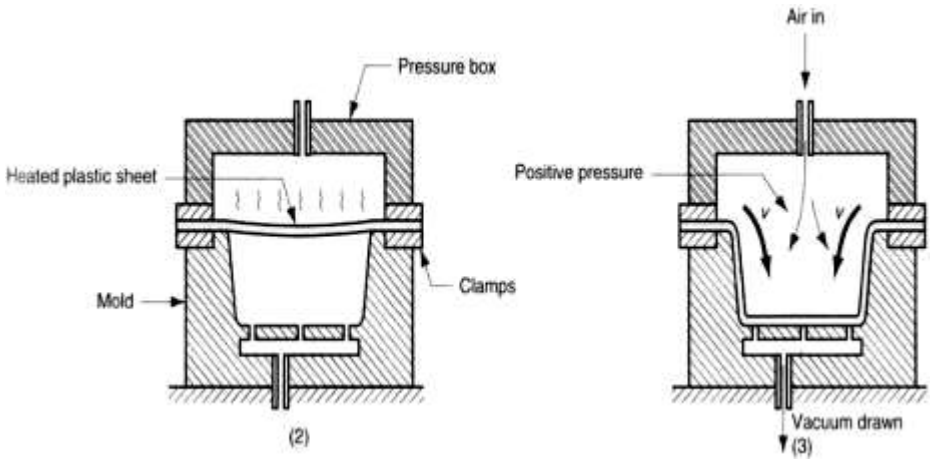
در شکل دهی تحت حرارت از نوع منفی ضخامت در گوشه های محصول بسیار کمتر از نواحی نزدیک به ورق گیر می باشد. در صورتیکه این تغییرات در ضخامت قابل قبول نباشد می توان از روش شکل دهی مثبت استفاده نمود. در این روش یک قالب نری (مثبت) به درون ورق گرم شده هدایت می گردد و بلافاصله عمل مکش مابین قالب و ورق رخ می دهد. در این روش ضخامت محصول یکنواخت تر است.



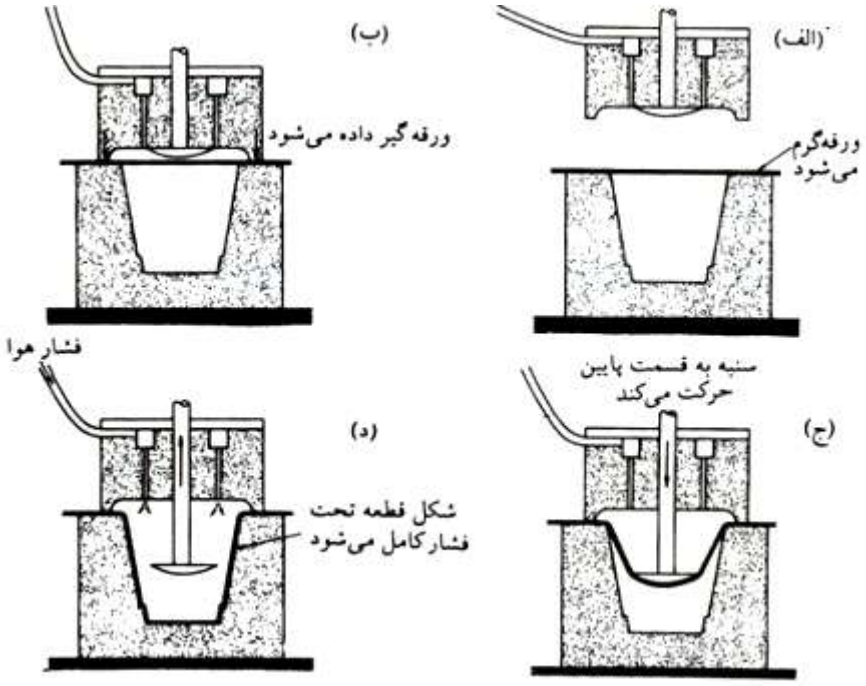
از گچ ، چوب و رزین های ترموست می توان در ساخت قالب استفاده کرد. برای تولید انبوه جهت افزایش سرعت خنک کاری و استحکام از قالب های فلزی بخصوص آلومینیوم استفاده می شود. مواد پلاستیکی که می توان به روش مکشی شکل داد شامل PVC , ABS , PET , LDPE , HDPE می باشند.

۳-۱-۲- شکل دهی حرارتی با فشار (Pressure Forming)

این روش شبیه به شکل دهی تحت مکش است به استثنای اینکه در این حالت به جای بکارگیری از مکش در زیر ورق از فشار هوا در بالای ورق استفاده می گردد. در این فرآیند به منظور بهبود یکنواختی در ضخامت در ابتدا محصول با استفاده از یک سمبه تحت عمل پیش کشش (Pre-Stretch) قرار می گیرد. در مرحله بعد شکل نهایی توسط فشار هوا ایجاد می شود. مزیت این روش این است که فشار بالایی جهت شکل دهی ورق می توان به کار برد.



شکل دهی تحت فشار

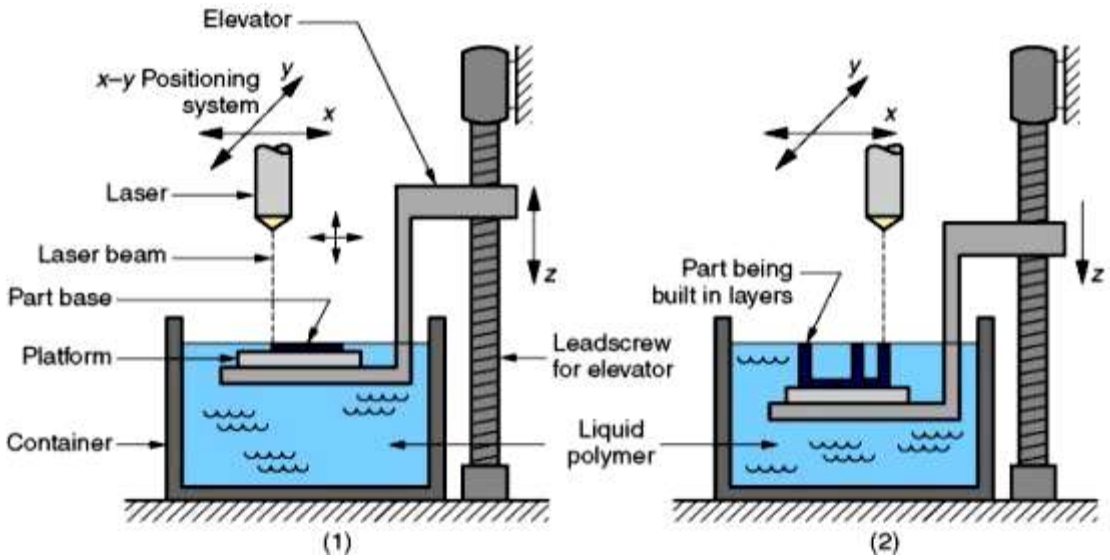


شکل دهی تحت فشار با سمبه

اگر عمل کشش (Per-Strech) انجام نمی شد، ضخامت محصول در قسمت وسط و گوشه ها کم می شد و با انجام کشش ضخامت یکنواخت تر است و استحکام قطعه بیشتر است و همچنین می توان قطعات با ارتفاع بیشتری تولید کرد.

۳-۱-۴-۵- روش استریولیتوگرافی (Stereolithography)

روشی است که برای نمونه سازی سریع مدل های پلیمری قطعات جدید به کار می رود. در این روش با سخت کردن یک پلاستیک مایع با استفاده از اشعهٔ لیزر برای ساخت قطعه به صورت لایه لایه استفاده می‌شود.

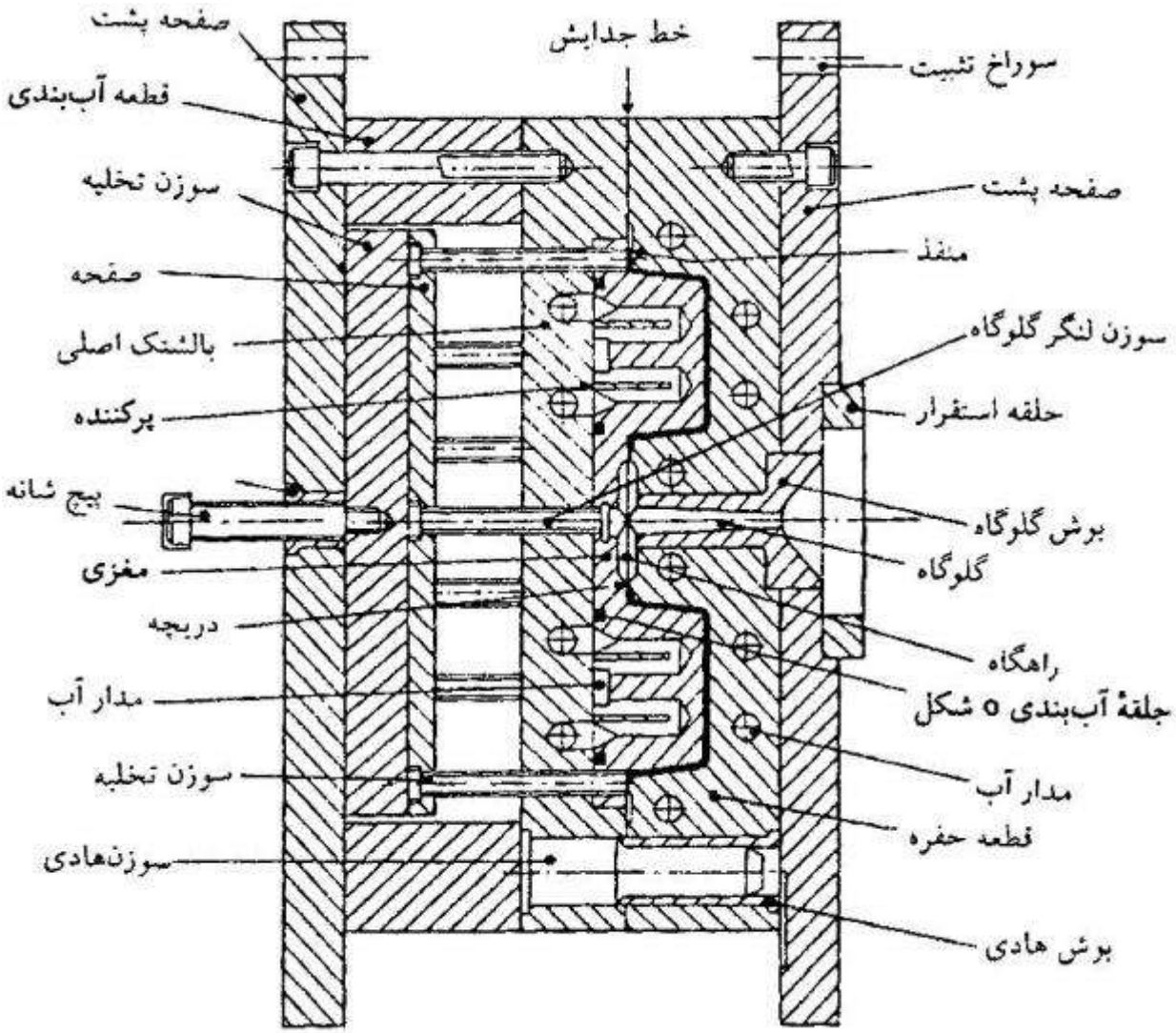


روش استریولیتوگرافی

فصل چهارم: طراحی قالب های تزریق پلاستیک

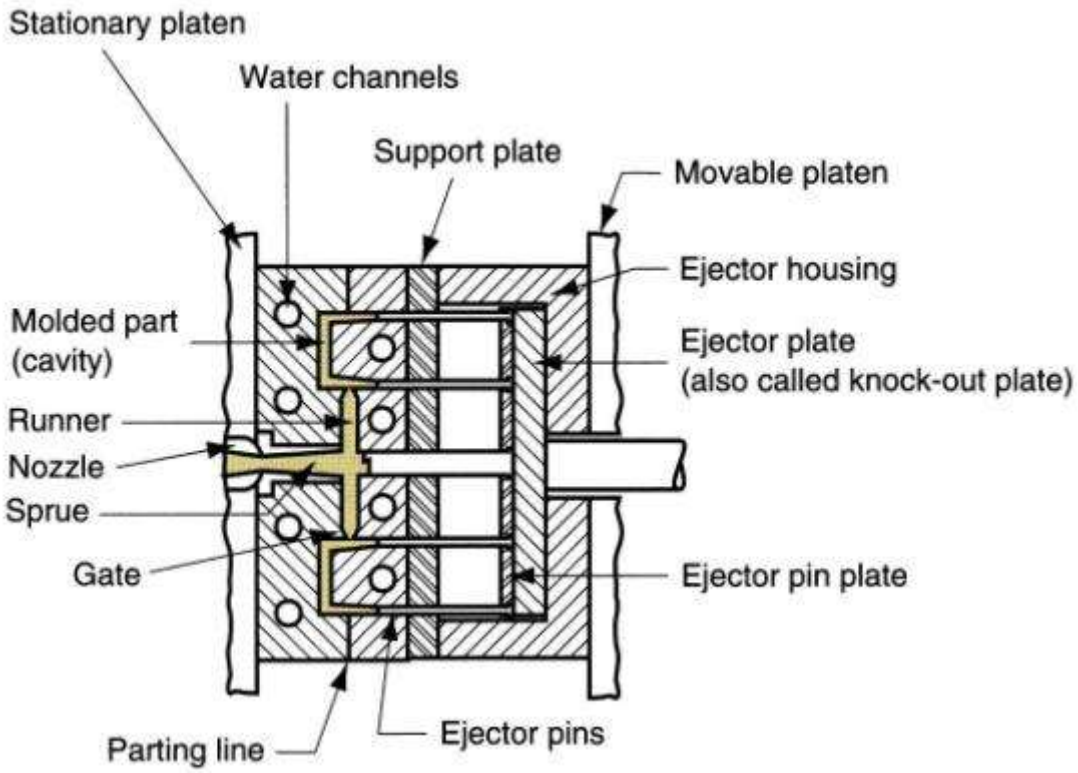
۴-۱- ساختمان عمومی قالب

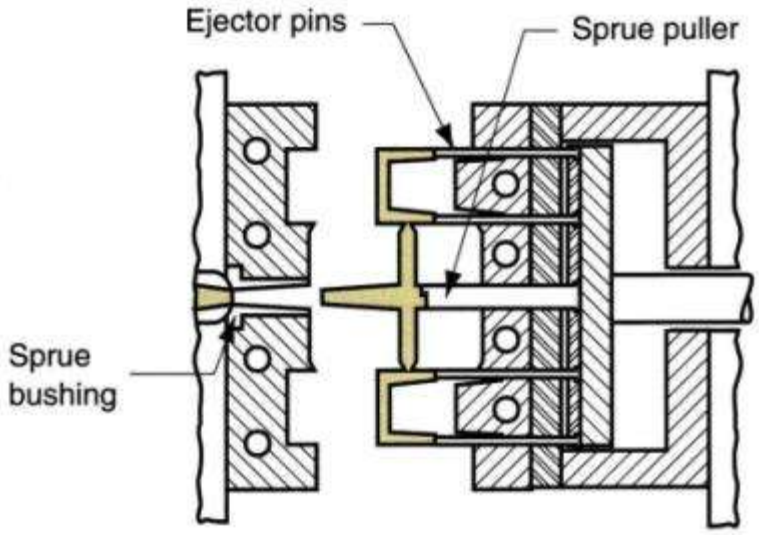
در ساده ترین حالت، قالب تزریق از دو نیمه تشکیل می‌شود که روی آنها، نقش قطعه مورد نظر شکل داده شده است و این سطوح به دقت ماشینکاری شده، به طوری که هیچ درز و نشتی در فصل مشترک آنها نباشد، در غیر این صورت در اطراف قطعه کار تولیدی، پلیسه (Flash) زیادی به وجود می‌آید. علاوه بر این، همان طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، برای تسهیل در تعبیه قالب روی دستگاه تزریق، افزایش سرعت سرد کردن و تسهیل تخلیه قطعه تولیدی، باید چند بخش دیگر بر روی دو نیمه قالب در نظر گرفته شود. به طور خلاصه این بخش ها عبارتند از صفحات پشت قالب که امکان استقرار و پیچ شدن قالب به دستگاه را می‌دهد، مجاری سیال خنک کننده که در داخل قالب تعبیه شده است و امکان تنظیم دمای قالب را فراهم می آورد و سوزنهای مخصوص پران (تخلیه) قطعه از قالب که عموماً با ضربه ای که توسط مجموعه صفحه پران، پس از باز شدن قالب به آنها زده می‌شود، عمل می کنند. محفظه (حفره) قالب از طریق بوش تزریق یا بوش گلوگاه (Sprue) به نازل دستگاه تزریق متصل است. اسپروکش (Sprue Anchor Pin Or Spru Puller) عمل کشیدن و جدا کردن اسپرو را از نازل انجام داده و اطمینان لازم را برای باقی ماندن قطعه روی نیمه متحرک قالب در حین باز شدن فراهم می‌کند.



جزئیات قالب تزریق پلاستیک

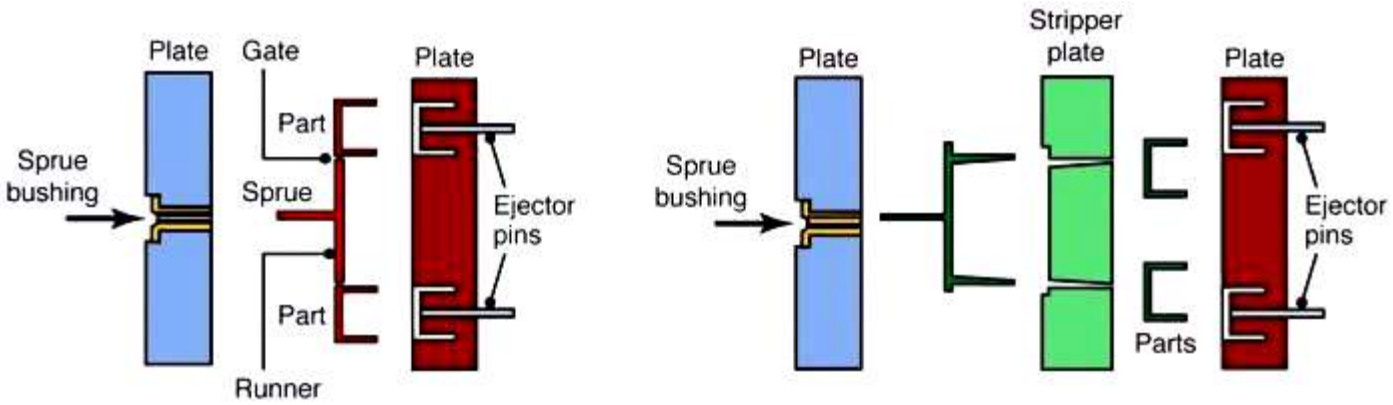
در قالبهایی که چند حفره دارند، محفظه قالب با راهگاههای باریکی (Runner) به گلوگاه متصل است. این راهگاهها روی یک نیمه یا هر دو نیمه قالب کنده شده است، به طوری که هیچ مانعی برای جریان یافتن و رسیدن مذاب به داخل حفره ها وجود ندارد. وجود موضع باریکی به عنوان نقطه اتصال راهگاه و حفره قالب، جدا شدن آسان گلوگاه و راهگاه را از قطعه ممکـن مـی سازد، این موضع باریک به دریچه (Gate) موسوم است.





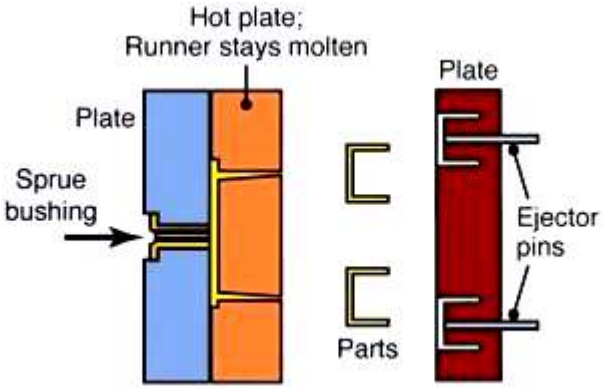
عملکرد اسپروکش و پین های پران (قالب دو صفحه ای)

قالب های دو صفحه ای و قالب های سه صفحه ای دو تیپ قالبی هستند که استفاده از آنها بیشتر رواج دارد. قالب های سه صفحه ای دارای این مزیت هستند که در آنها راهگاه به صورت خودکار از قطعه جدا می‌شود.



قالب سه صفحه ای (سمت راست) و قالب دو صفحه ای (سمت چپ)

در برخی از قالب ها به منظور کاهش ضایعات تولید از راهگاه های گرم استفاده می‌شود. در این صورت راهگاه ها در سیکل قالبگیری سرد نشده و از قالب خارج نمی‌شوند بلکه در سیکل بعد به محفظه قالب تزریق می‌شوند.



قالب با راهگاه گرم

۱- محفظه قالب

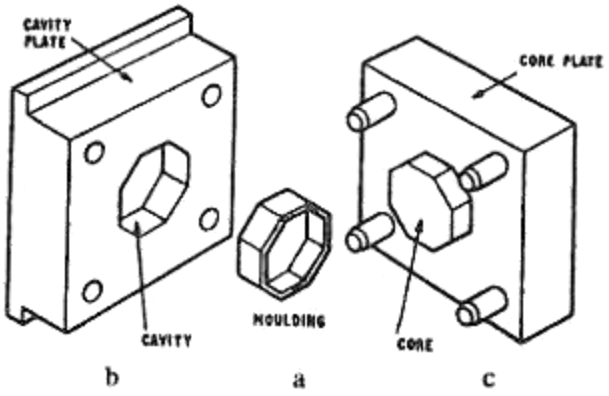
قالب تزریق شامل مجموعه ای از قطعات است که محفظه را تشکیل می‌دهند. مواد پلاستیک به داخل این محفظه تزریق شده و سرد می‌شوند و در محفظه، قطعه تزریقی شکل می‌گیرد. بنابراین محفظه به بخشی از فضای قالب گفته می‌شود که به شکل قطعه تزریقی است و قطعه در آن شکل می‌گیرد. محفظه با دو عضو قالب شکل می‌گیرد:

۱-حفره (Cavity): قسمت مادگی قالب است و شکل بیرونی قطعه را به وجود می آورد.

۲-ماهیچه (Core): قسمت نری قالب است و شکل داخلی قطعه را به وجود می آورد.

۲- صفحات حفره و ماهیچه (Core & Cavity Plate)

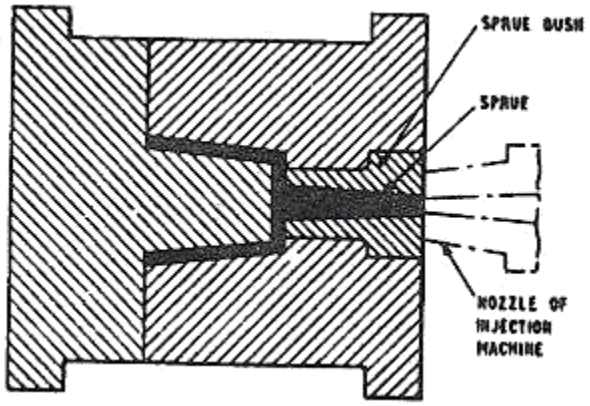
این صفحات در شکل زیر برای یک ظرف شش گوش ساده نشان داده شده است. در این مورد قالب شامل دو صفحه است. در داخل یک صفحه، حفره ایجاد شده که شکل آن مانند شکل بیرونی قطعه است. بنابراین، این صفحه را صفحه حفره می نامند. به صورت مشابه، ماهیچه دارای شکلی برآمده از صفحه ماهیچه است و شکل آن مانند شکل داخلی قطعه تزریقی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



قالب پایه شامل صفحه حفره و صفحه ماهیچه

۳- بوش تزریق (Spru Bush)

در هنگام تزریق، مواد پلاستیک به صورت خمیر از نازل ماشین تزریق خارج شده و از طریق یک مسیر به محفظه قالب وارد می‌شود. ساده ترین نوع این مسیریک سوراخ مخروطی شکل در داخل یک بوش است. مواد موجود در این مسیر را اسپرو و بوش را بوش تزریق گویند.

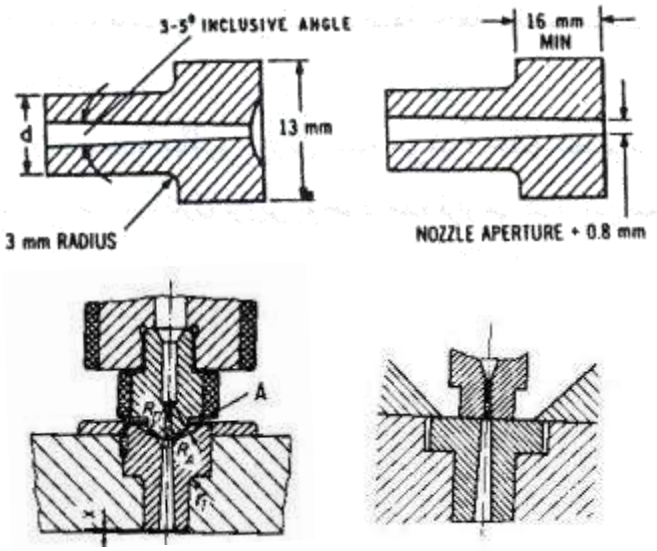


سیستم تغذیه برای قالب تک محفظه ای

بوش تزریق قطعه ای است که در آن اسپرو شکل می‌گیرد. در عمل بوش تزریق قطعه ای واسطه بین نازل ماشین و سطح قالب است. مواد از طریق سوراخی که در وسط بوش است، به داخل محفظه قالب منتقل شده و یا در قالبهای چند محفظه ای به داخل راهگاه وارد می‌شوند. در بعضی از کاربردها بوش تزریق تحت تنش نسبتا بالایی قرار می‌گیرد و بنابراین باید از جنس آلیاژ فولاد و نیکل باشد و سخت کاری شود. افزایش دمای سیلندر تزریق، باعث اعمال فشار زیادی به بوش تزریق می‌شود، زیرا دمای بالا باعث انبساط سیلندر تزریق خواهد شد. زاویه راس مخروط بوش تزریق بین۳-۵ درجه است تا اسپرو بتواند به راحتی در انتهای سیکل تزریق از قالب جدا شود.

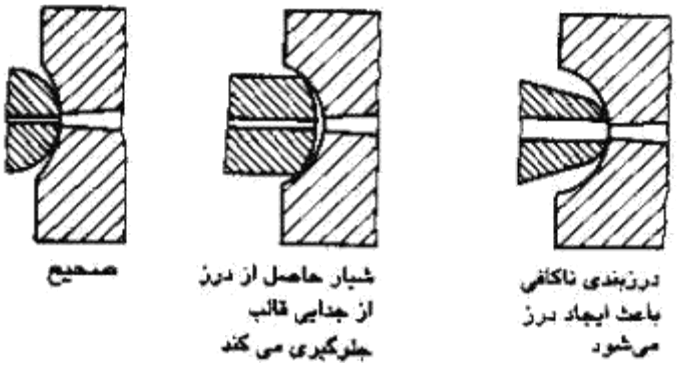
با توجه به شکل نوک نازل ماشین تزریق، دو طرح پایه برای بوش تزریق وجود دارد:

- در طرح اول یک نشیمنگاه کروی روی بوش وجود دارد تا نوک نازل تزریق که کره ای شکل است بر روی آن کاملاً مماس شود.
- در طرح دوم ، سطح نشیمنگاه بوش تزریق کاملا تخت است.



بوشهای تزریق با نشیمنگاه کروی و نشیمنگاه تخت

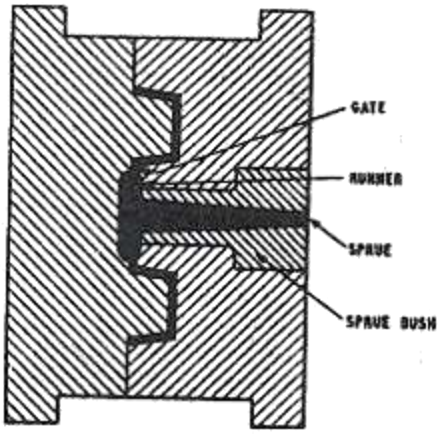
باید توجه کرد که شعاع نوک نازل تزریق باید کمی کوچکتر از شعاع نشیمنگاه کروی بوش تزریق باشد تا اطمینان حاصل شود که تماس فیزیکی در محل سوراخ داخلی ایجاد می‌شود.



نحوه انطباق نازل با بوش تزریق

۴- سیستم راهگاه (Runner) و ورودی (Gate)

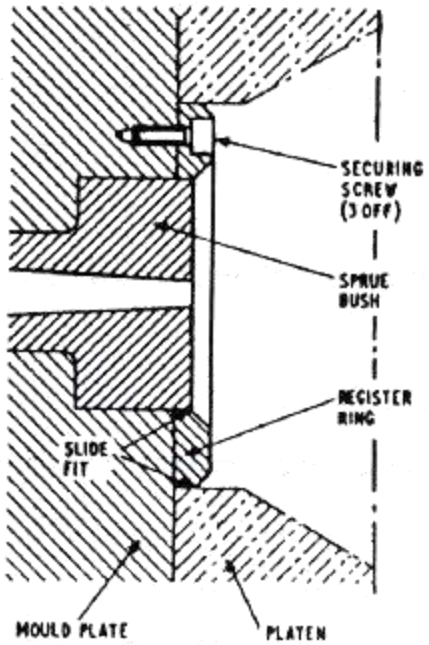
در صورتی که مواد پلاستیک مستقیماً از طریق بوش تزریق وارد محفظه شود جدا کردن اسپرو از قطعه تولیدی دشوار می‌شود به همین دلیل کانال ورودی قالب را باریک تر در نظر می‌گیرند که به آن دریچه ورودی (Gate) می‌گویند. همچنین در قالبهایی که دارای چند محفظه هستند (قالبهای چند محفظه ای) قبل از ورود مواد به محفظه، می باید این مواد از راهگاه و ورودی نیز عبور کنند.



سیستم تغذیه برای قالب چند محفظه ای

۵- حلقه تنظیم(Register Ring)

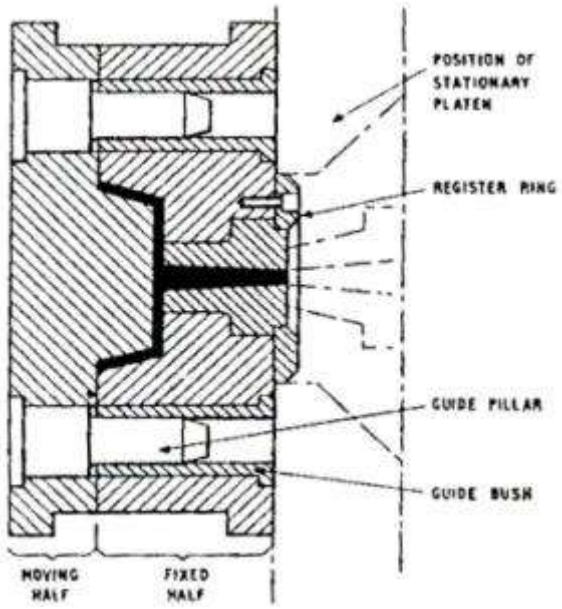
برای این که مواد پلاستیک بدون هیچ مانعی وارد قالب شوند، نازل ماشین و بوش تزریق می باید همراستا باشند. برای اطمینان از این موضوع باید قالب در مرکز صفحه ماشین نصب شود. این هم مرکزی با استفاده از حلقه تنظیم امکان پذیر است. حلقه تنظیم (حلقه تثبیت، حلقه موقعیت دهنده یا حلقه استقرار نیز نامیده می‌شود) قطعه گردی است که به کفشک ثابت قالب بسته می‌شود. وظیفه حلقه تنظیم،تثبیت قالب در موقعیت صحیح روی ماشین تزریق است. زمانی که قالب روی صفحه ماشین تزریق بسته می‌شود، حلقه تنظیم در داخل یک سوراخ دقیق که در صفحه ماشین در امتداد با نازل تزریق به وجود آمده قرار می‌گیرد. این عمل باعث می‌شود تا سوراخ نازل ماشین هم امتداد با سوراخ بوش تزریق باشد. این همراستایی بین نازل ماشین و بوش تزریق باعث می‌شود تا جریان مواد از سیلندر تزریق وارد بوش تزریق و سیستم راهگاهی شوند. حلقه تنظیم در واقع واسطه بین بوش تزریق و سوراخ صفحه ماشین است.



تثبیت موقعیت قالب با حلقه تنظیم روی صفحات ماشین

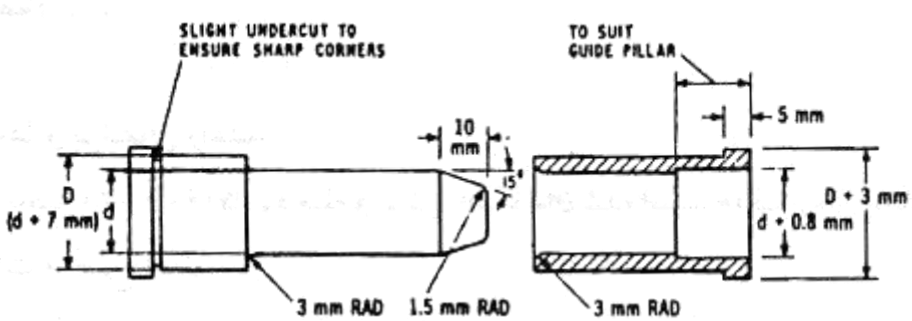
۶- میله ها و بوشهای راهنما (Guide Pillar & Bush)

در قالبگیری قطعه ای که ضخامت دیواره ها در آن مهم است و برای اطمینان از انطباق حفره و ماهیچه که امری الزامی است، با به کار بردن میله و بوشهای راهنما در دو نیمه قالب، هنگام بستن قالب انطباق به صورت رضایت بخشی انجام می‌شود.



قالب پایه شامل قطعات بوش تزریق، حلقه تنظیم، میله های راهنما و بوشهای راهنما

از بوش راهنما در قالب استفاده می‌شود تا بتوان سطح مقاومی در برابر سایش برای میله راهنما ایجاد کرد و امکان تعویض آن در صورت سایش شدید و یا تخریب وجود داشته باشد. قطر داخلی بوش راهنما متناسب با قطر میله راهنما و با یک انطباق لغزشی مناسب و قطر خارجی بوش با تلرانس انطباق پرسی مناسب برای محکم شدن روی صفحه قالب طراحی می‌شود. یک شعاع برای هدایت بهتر میله راهنما در ابتدای سوراخ بوش راهنما ایجاد می‌شود.



طرح میله راهنما و بوش راهنما

۷- نیمه ثابت و نیمه متحرک

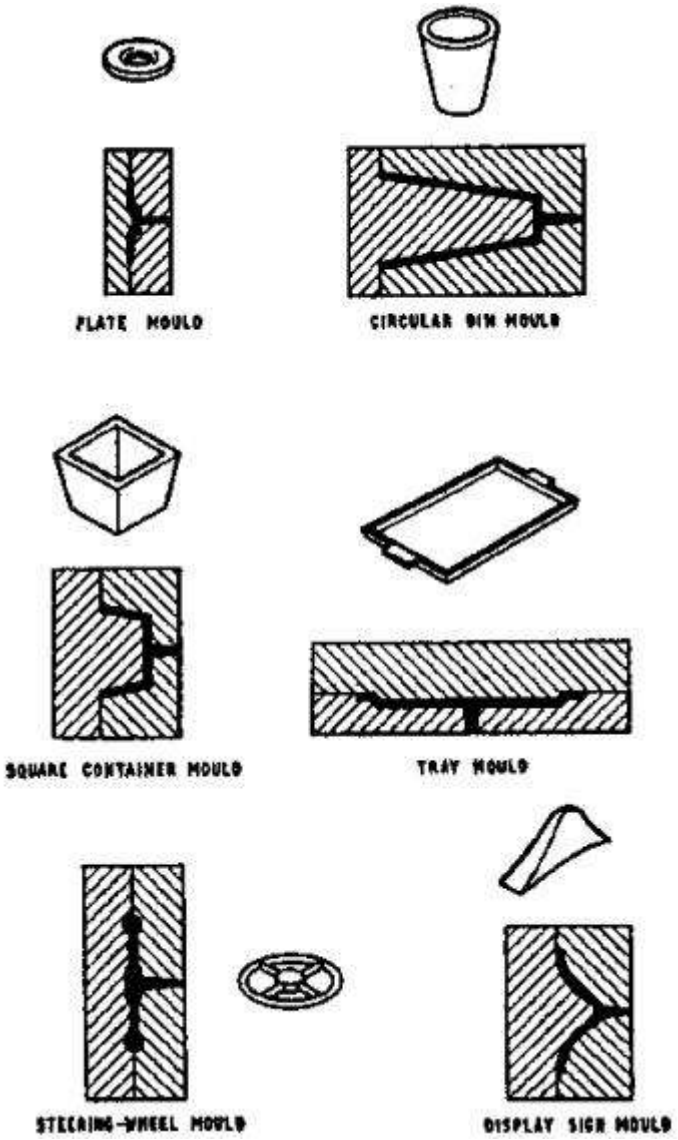
همانطور که در شکل های فوق مشاهده می‌شود قطعات مختلف قالب در یکی از دو نیمه قالب جا می‌گیرند. نیمه ای که به صفحه ثابت ماشین بسته می‌شود، نیمه ثابت قالب نامیده می‌شود. نیمه دیگر قالب که به صفحه متحرک ماشین بسته می‌شود، نیمه متحرک قالب نامیده می‌شود.

اکنون باید تصمیم گرفت حفره و ماهیچه را در کدام نیمه قالب نصب نمود، عموما به دلیلی که در زیر بیان می‌شود، ماهیچه روی نیمه متحرک قالب نصب می‌شود زیرا 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 باید از یک سیستم پران استفاده کرد، اگر ماهیچه در سیستم متحرک قالب نصب شود، امکان تحریک سیستم پران ساده تر است.

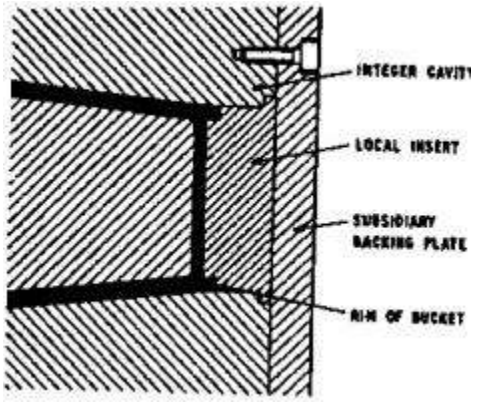
۸- روشهای به کار بردن ماهیچه و حفره

مشاهده شد که عموما ماهیچه در نیمه متحرک و حفره در نیمه ثابت قالب قرار می‌گیرد. روشهای مختلفی هنگام به کار بردن حفره و ماهیچه در نیمه های قالب وجود دارد. این روشها در دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

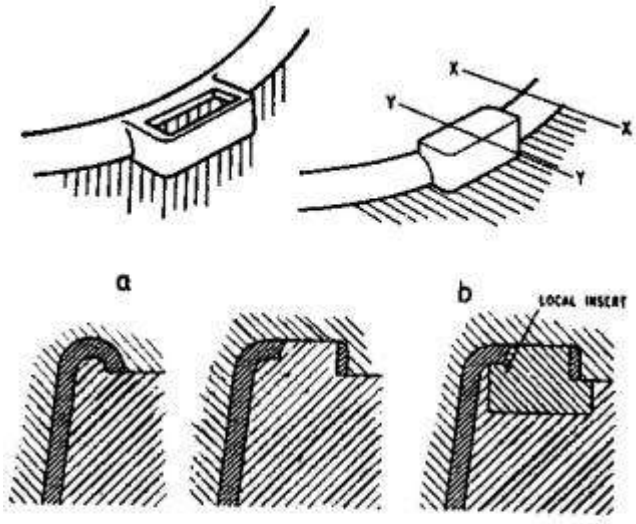
الف- روش یکپارچه: در این روش حفره یا ماهیچه بر روی یک صفحه فولادی ماشینکاری شده و جزئی از صفحات اصلی ساختمان قالب است.



نمونه هایی از قالب های یکپارچه

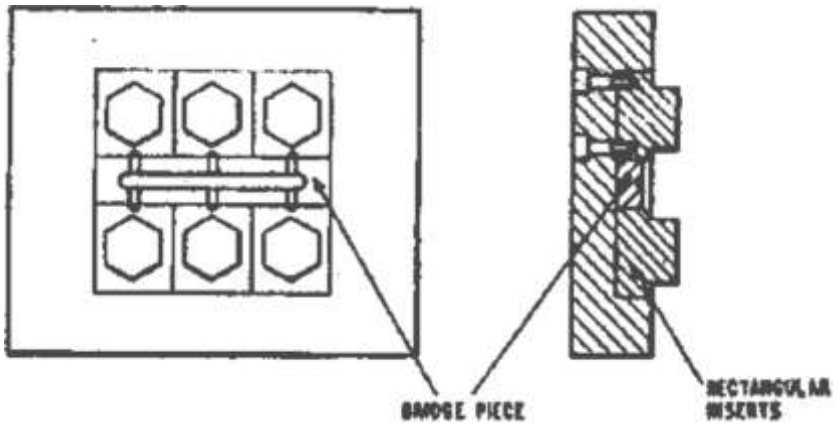


استفاده از اینسرت موضعی در قالب یکپارچه (برای سادگی ماشینکاری)



نمایش یک اینسرت موضعی مناسب در یک حفرهٔ اینتگری:
(a) قسمتی از قطعه (یک ظرف) (به برآمدگی دسته توجه کنید).
(b) برآمدگی لبهٔ ظرف روی حفره
(c) برش موضعی قالب در "x-x"
(d) برش موضعی قالب در "Y-Y" بدون کاربرد اینسرت موضعی
(e) برش موضعی قالب در "Y-Y" با اینسرت موضعی

ب- روش اینسرتی: در این روش حفره یا ماهیچه از بلوک های کوچک فولادی ساخته می‌شوند و اصطلاحا اینسرت نامیده شده و در داخل صفحه ای به نام نگهدارنده نصب می‌شوند.

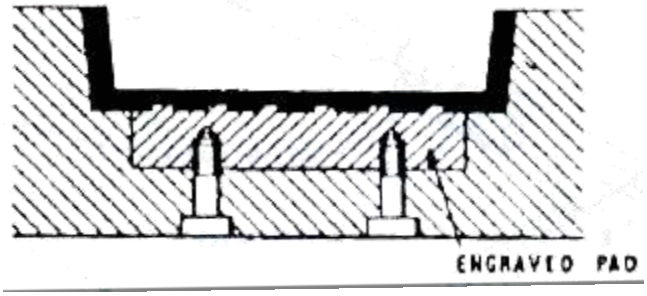


نحوه بکارگیری اینسرتها

انتخاب یکی از دو روش فوق اهمیت زیادی دارد و بستگی به نظر طراح قالب دارد.

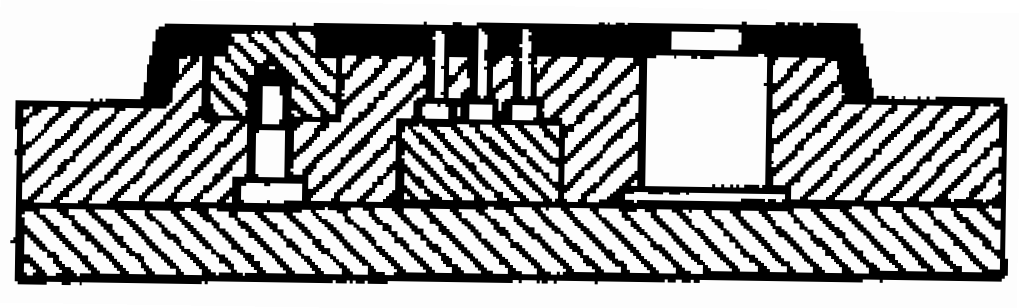
۹- اینسرتها

برای قالبهایی که دارای محفظه پیچیده بوده و یا قالبهای چند محفظه ای، ماشینکاری حفره و ماهیچه از یک بلوک فولادی به روش یکپارچه مناسب نیست. مراحل ماشینکاری و عملیاتی که باید انجام شود، بسیار پیچیده و غیر اقتصادی است. بنابراین از روش اینسرت – نگهدارنده به جای روش یکپارچه استفاده می‌شود.



صفحه شیار زده شده، یک اینسرت موضعی می‌باشد

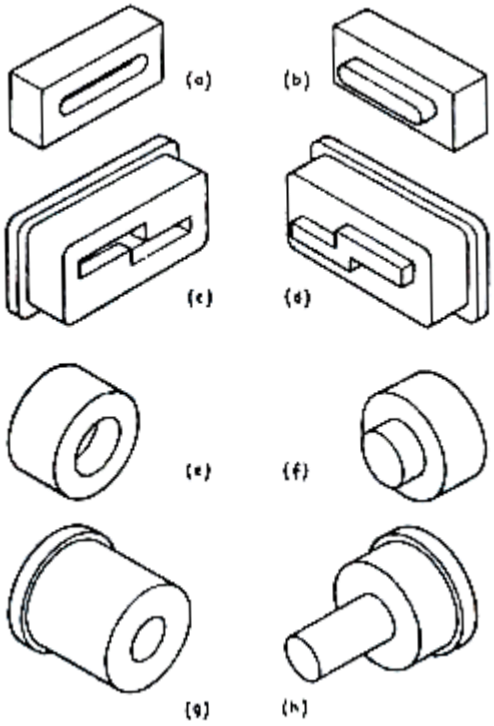
در این روش محفظه با استفاده از بلوکهای کوچک فولادی ایجاد می‌شود. این بلوکهای فولادی پس از ماشینکاری، اینسرت نامیده می‌شود. اینسرتی که ماهیچه یا نری را شکل می‌دهد، اینسرت ماهیچه و اینسرتی که حفره و یا مادگی را شکل می‌دهد، اینسرت حفره نامیده می‌شود. این اینسرتها در داخل یک بلوک پایه یا صفحه فولادی که نگهدارنده نام دارند، جاسازی می‌شوند. این جاسازیها را با ماشینکاری روی صفحه نگهدارنده ایجاد می کنند، در مرحله آخر اینسرت با پیچ یا لبه بسته می‌شود.



روش های اتصال اینسرتها

۱۰- شکل و نوع اینسرت

طراح بنا به نوع ساده سازی برای ماشینکاری، شکل اینسرت را به صورت گرد یا چهارگوش انتخاب می‌کند. اینکه کدام یک از دو شکل انتخاب شود، بستگی به شکل قطعه تزریقی دارد. معمولا در قطعات تزریقی گرد، اینسرتها گرد و در شکلهای دیگر اینسرتهای چهار گوش مناسب تر است.



انواع اینسرتهای حفره و ماهیچه

(a,b) اینسرتهای چهارگوش، تثبیت با پیچ (c,d) اینسرتهای چهارگوش، تثبیت با لبه

(e,f) اینسرتهای گرد، تثبیت با پیچ (h,g) اینسرتهای گرد، تثبیت با لبه

مسلماً برای قالبهای تک محفظه ای، علاوه بر ساده یا پیچیده بودن قطعه، ترجیحاً از روش یکپارچه استفاده می‌شود. قالب تک محفظه ای یکپارچه نهایتاً یک قالب با استحکام مناسب، حجم کم، نسبتا کم هزینه و عموما با یک سیستم خنک کاری خوب نسبت به طرح نوع اینسرتی است. انتخاب نوع قالب در قالبهای چند محفظه ای به راحتی انتخاب در قالب تک محفظه ای نیست. در انتخاب قالب نوع اینسرتی، انطباق حفره و ماهیچه و هزینه کم قالب پارامتر های مهمی هستند.

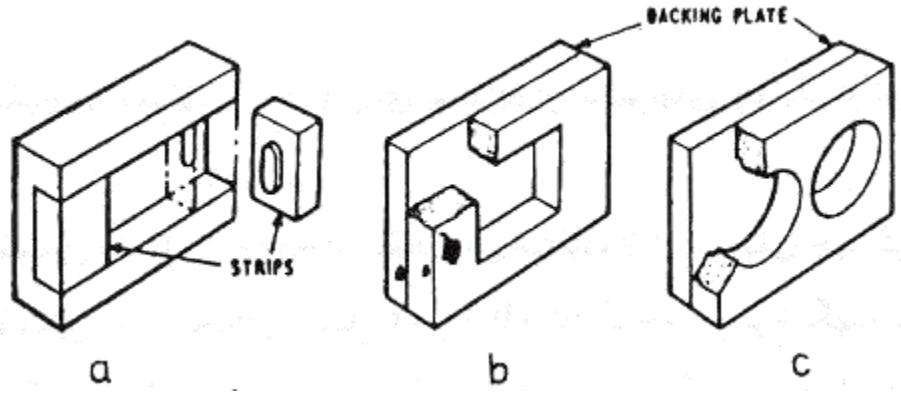
۱۱- نگهدارنده ها

ملاحظه نمودید وقتی که تصمیم گرفتیم، در یک طرح قالب اینسرتهای ماهیچه و حفره به کار ببریم، می باید این اینسرتها را در محل خود نگه داشت. با محکم جا زدن اینسرت در نگهدارنده و رعایت انطباق صحیح و مناسب بین اینسرت و محل آن در نگهدارنده در هنگام مونتاژ، انطباق خوبی بین حفره و ماهیچه ایجاد می‌شود. به طور خلاصه در یک نگهدارنده باید موارد زیر را در نظر گرفت:

۱- می باید در آن یک جا ساز مناسب برای قرار گرفتن اینسرت وجود داشته باشد.

۲- برای تثبیت اینسرت بعد از قرار گرفتن در محل خود، باید روشی جهت بستن آن در نگهدارنده در نظر گرفت.

۳- نگهدارنده باید استحکام کافی را برای مقاومت در برابر نیروهای اعمالی به قالب داشته باشد.



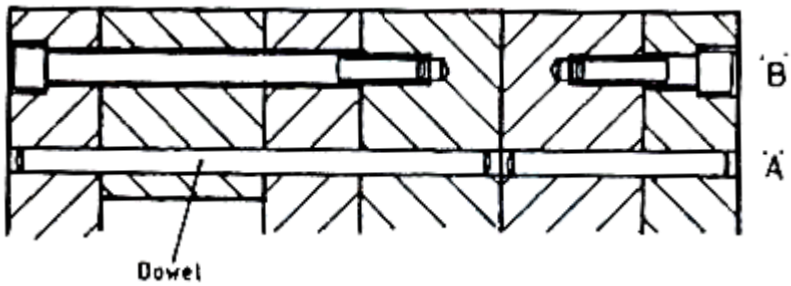
شکل ۲- انواع نگهدارنده ها

a) نگهدارنده لقمه ای (برای سادگی ماشینکاری) b) نگهدارنده دو صفحه ای برای اینسرتهای چهارگوش

c) اینسرتهای دو صفحه ای برای اینسرتهای گرد قطعات فرعی قالب

۱۲- اتصال صفحات قالب

قالب از تعدادی صفحات مجزا تشکیل شده که باید به یکدیگر بسته شوند. اگر یکی از صفحات نسبت به صفحات دیگر قالب حرکت کند، سیستم محفظه (حفره) و سیستم هدایت قالب خراب شده و کار تعمیرات یا جانشینی صفحات نیز کار بسیار پر هزینه ای است. یکی از رایج ترین روشها برای اتصال صفحات قالب، استفاده از پیچ و پین است. این طرح، یک روش پایه است که در طرحهای مهندسی از آن برای بستن صفحات بر یکدیگر و موقعیت دهی آنها نسبت به هم استفاده می کنند. در طرح شکل A از تعدادی پین استفاده می‌شود. این پین ها در داخل سوراخهایی که برقوکاری شده اند جا زده می‌شود. این ترکیب باعث می‌شود تا در زمان بستن و باز کردن قالب، صفحات در موقعیت صحیح خود نصب شوند. در شکل زیر صفحات بااستفاده از پیچهای B به یکدیگر بسته می‌شوند. اگرچه تعداد چهار پیچ برای قالبهای کوچک (قالب در حدود 200×200mm) کافی است ولی با توجه به اندازه قالب، از تعداد پیچ بیشتری استفاده می‌شود تا اطمینان کافی نسبت به بسته شدن صفحات به یکدیگر حاصل شود. در انتخاب محل این پیچ و پین ها باید دقت نمود تا با مسیرهای راه آب برخورد نکنند.

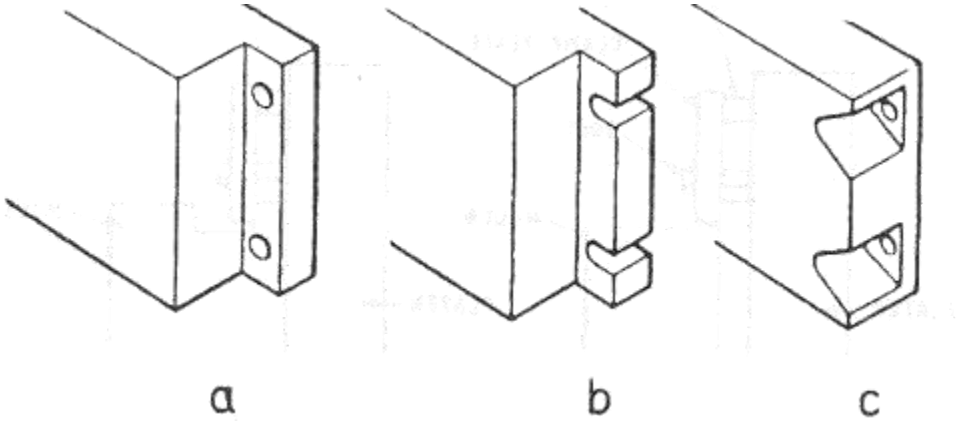


بستن صفحات قالب به یکدیگر: روش استفاده از پیچ و پین

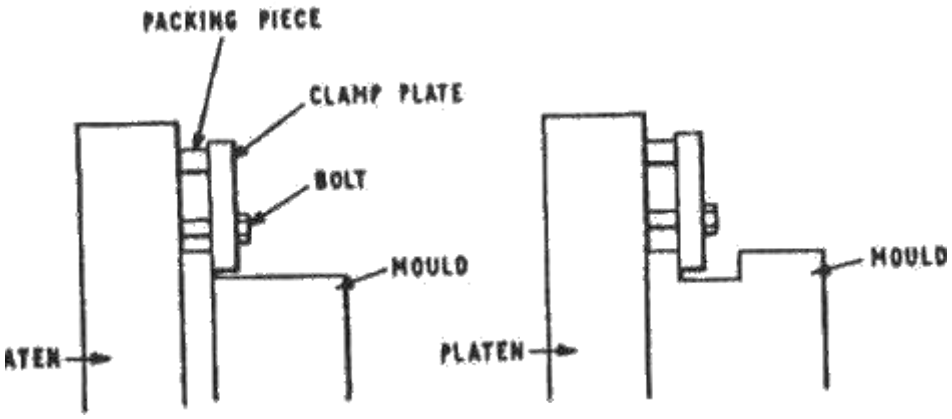
۱۳- بستن قالب روی صفحات ماشین تزریق

دو روش برای بستن قالب روی ماشین تزریق وجود دارد:

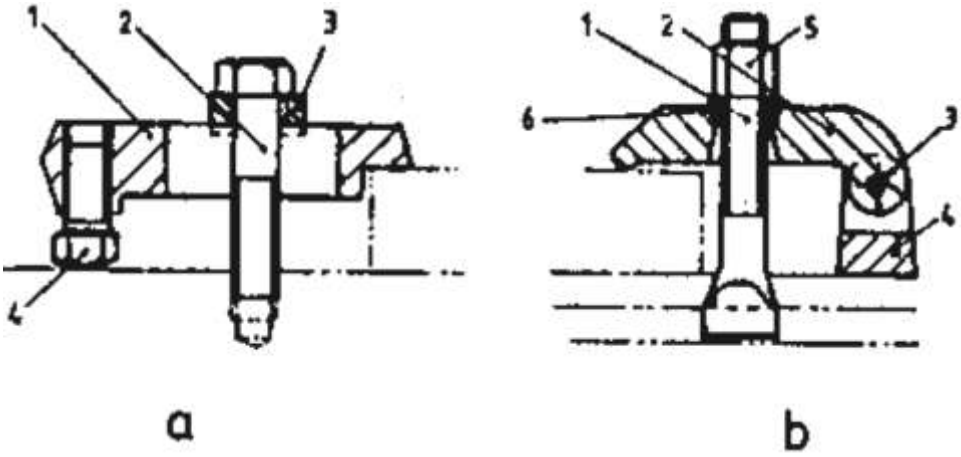
روش اول استفاده از روش مستقیم است که در این روش قالب با پیچ به صفحه ماشین بسته می‌شـود و روش دوم روش غیـر مستقیم است که در این روش قالب به صفحه ماشین با استفاده از روبنده بسته می‌شود.



بستن قالب به صفحات ماشین تزریق به صورت مستقیم با پیچ



بستن قالب به صفحات ماشین تزریق به صورت غیر مستقیم با روبنده

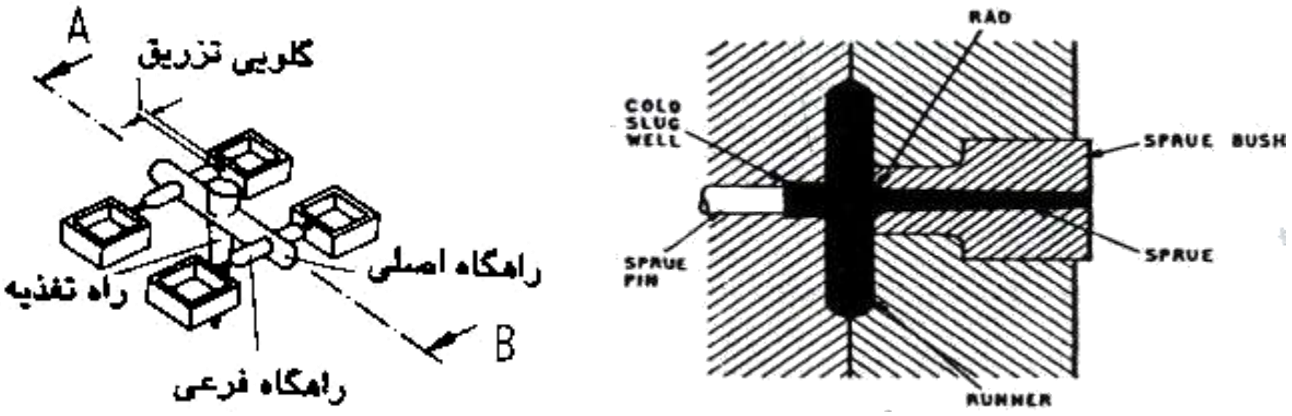


نمونه روبنده های استاندارد برای بستن قالب:

(a) طرح شرکت DME (b) طرح شرکت HASCO

۴-۲- سیستم تغذیه

در قالب باید یک مسیر جریان برای عبور مواد پلاستیک از نازل ماشین تزریق در هر محفظه طراحی شودکه به این مسیر جریان مواد، سیستم تغذیه گویند. معمولا شامل اسپرو (Sprue)، راهگاه اصلی(Runner) و راهگاه فرعی(Branch Runner) و ورودی(Gate) است. در شکل زیر یک طرح سیستم تغذیه نمونه برای یک قالب در صفحه چهار محفظه ای نشان داده شده است.



(a) (b)

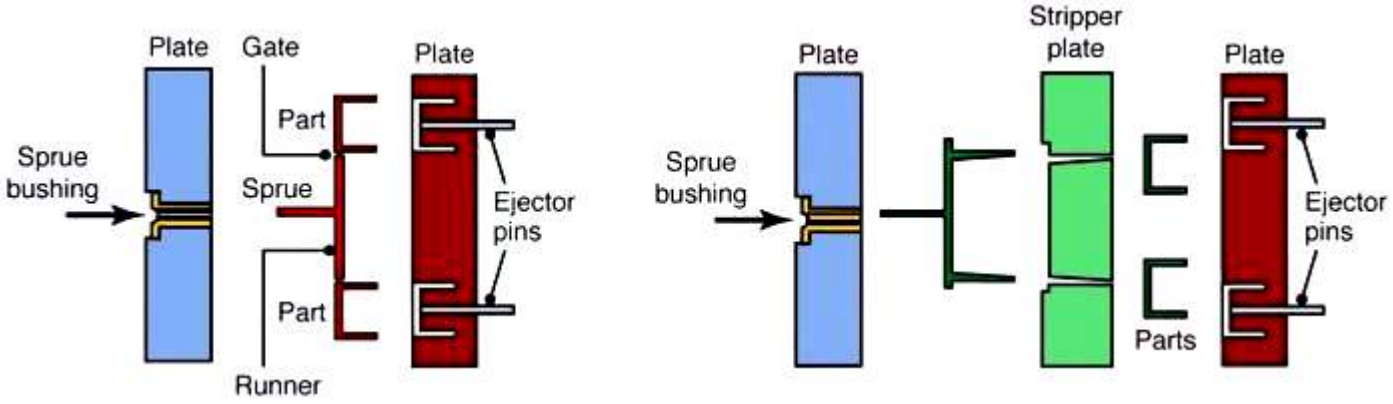
سیستم تغذیه:(a) یک قطعه نمونه همراه با اسپرو، راهگاه و ورودی متصل به آن

(b) برش مقطع از یک سیستم تغذیه قالب

مشاهده می‌شود که مواد قبل از ورود به محفظه از اسپرو، راهگاه، راهگاه فرعی و ورودی عبور می‌کنـد. همیشـه مطلـوب تـر است، طول مسیری که مواد طی می کنند تا به محفظه برسند، حداقل ممکن باشد تا کمترین کاهش فشار و افت حرارتـی را داشته باشد. به همین دلیل می بایست دقت بیشتری در آرایش محفظه ها داشت.

۱- راهگاه

راهگاه کانالی است که در صفحه قالب ایجاد شده تا اسپرو را به ورودی محفظه متصل کند. در طراحی قالـب دو صـفحه ای، راهگاه در روی سطح جدایش قرار می‌گیرد. برای کاهش مقاومت در برابر جریان مواد، سطح راهگاه باید صاف و صیقلی باشد.



قالب دو صفحه ای (سمت چپ) و قالب سه صفحه ای (سمت راست)

موارد دیگری که طراح باید در طراحی راهگاه در نظر داشته باشد عبارتند از :

۱- شکل سطح مقطع راهگاه

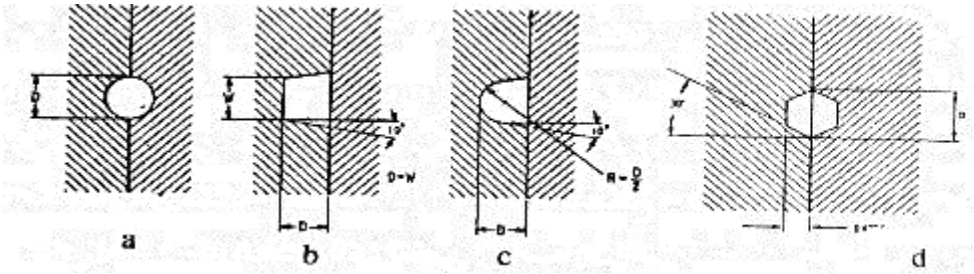
۲- اندازه راهگاه

۳- آرایش راهگاه

شکل سطح مقطع راهگاه

عموما سطح مقطع راهگاه به چهار شکل است : (شکل زیر)

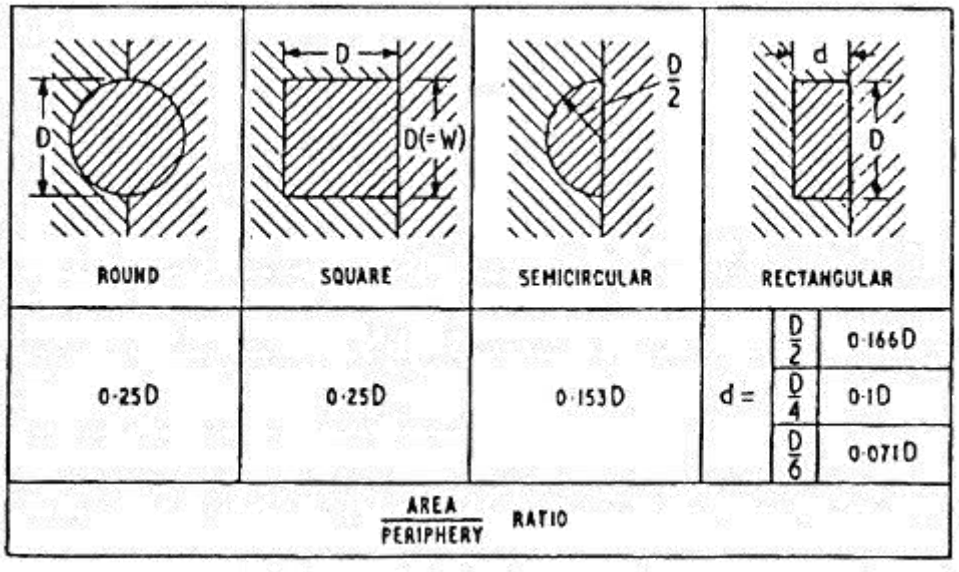
- کاملا گرد
- ذوزنقه ای
- ذوزنقه ای تصحیح شده (شبه سهمی)
- شش گوش



شکل سطح مقطع راهگاه: (a) گرد، (b) ذوزنقه ای، (c) ذوزنقه ای تصحیح شده، (d) شش گوش

دلایلی که باعث می‌شود تا فقط این سطح مقطع ها برای راهگاه در نظر گرفته شوند، در زیر بیان شده است :

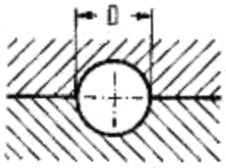
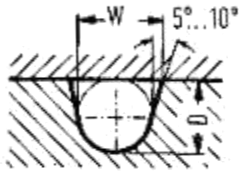
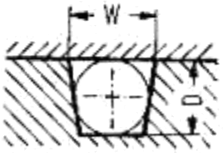
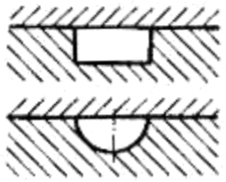
نسبت مساحت به محیط مقطع راهگاه مستقیما روی راندمان راهگاه اثر می‌گذارد. هر چه این نسبت بزرگتر باشد، راندمان راهگاه بیشتر است. معیار مناسب برای یک راهگاه با راندمان بالا از دیدگاه انتقال فشار حداکثر بودن مساحت مقطع راهگاه است. از نظر مسائل انتقال حرارتی باید حداقل محیط را داشته باشد تا مواد با سطوح کمتری در تماس باشند. این نسبت برای سطوح مختلف راهگاه در شکل نشان داده شده است.



نسبت مساحت به محیط انواع مقطع راهگاهها (اعداد بیشتر راندمان بیشتر را نشان می‌دهد.)

همانگونه که مشاهده می کنید، از این دیدگاه مقطع کاملا گرد و مقطع مربعی شکل طرحهای مطلوب هستند. همانگونه که این نسبتها نشان می‌دهند، مقاطع نیم دایره و مستطیل اصولا مطلوب نمی‌باشند.

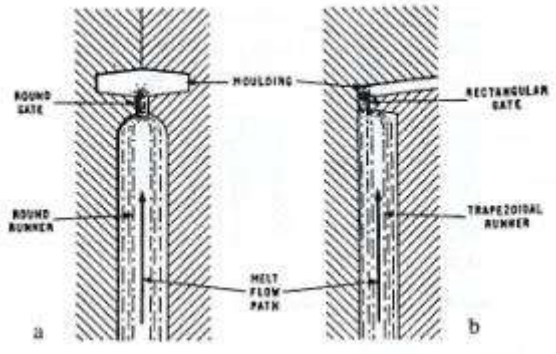
به دلیل مشکل بودن پران راهگاه با مقطع چهار گوش، این مقطع نیز نامطلوب است. در عمل برای پیشگیری از این مسئله یک زاویه در حدود ۱۰ درجه روی دیواره های راهگاه اعمال می‌شود. بنابراین سطح مقطع های چهار گوش به سطح مقطع ذوزنقه ای تبدیل می‌شود.

ویژگیها	سطح مقطع راهگاهها
امتیاز : سطح کوچکتر نسبت به سطح مقطع، سرعت سردشدن کمتر، اتلاف گرمایی و اصطکاکی کمتر، مرکز کانال در آخر منجمد می‌شود بنابراین فشار نگهدارنده مؤثر است . ضعف : ماشینکاری هر دو نیمه قالب مشکل و گران است .	سطح مقطع دایروی  $D = s_{max} + 1,5\,mm$
امتیاز : بهترین تقریب سطح مقطع دایروی، ماشینکاری ساده فقط در یک نیمه قالب (اغلب در سمت متحرک برای بیرون اندازی) ضعف : اتلاف گرما و دورریز نسبت به سطح مقطع دایروی بیشتر است .	سطح مقطع سهمی شکل  $W = 1,25 \cdot D$ $D = s_{max} + 1,5\,mm$
یک حالت از سطح مقطع سهمی شکل ضعف : اتلاف بیشتر گرما و دورریز نسبت به سطح مقطع سهمی شکل	سطح مقطع ذوزنقه‌ای  $W = 1,25 \cdot D$
نباید سطح مقطعهای *نامطلوب* ایجاد شود .	

ویژگی راهگاهای متفاوت

هنگامیکه مذاب پلاستیک از راهگاه و سیستم تغذیه عبور می‌کند ، دمای مذاب نزدیک به سطح سرد قالب سریعا کاهش می یابد و منجمد می‌گردد. مواد پلاستیک از بین این مواد منجمد شده عبور می کنند. به دلیل قانون انتقال حرارت هدایتی که اکثر مواد پلاستیک را شامل می‌شود، مواد منجد شده مانند یک عایق حرارتی عمل کرده و مواد مذاب پلاستیکی از بین این ناحیه عایق حرارتی می‌گذرند. در حالت مطلوب، ورودی محفظه باید در امتداد خط مرکزی راهگاه باشد تا در مرکز جریان

قرار گیرد. این در راهگاه هایی با مقطع گرد و شش گوش اتفاق می افتد (شکل زیر a) . طرح راهگاه با مقطع ذوزنقه ای (شکل زیر b) از این دیدگاه مطلوب نیست و نمی توان ورودی را در راستای خطوط جزیان مرکزی قرار داد.



جریان مواد در راهگاه گرد و راهگاه ذوزنقه ای

ابعاد راهگاه :

طراح در زمان تصمیم گیری درباره ابعاد راهگاه باید موارد زیر را در نظر بگیرد :

۱- ضخامت دیواره و حجم تزریق

۲- فاصله محفظه تا راهگاه اصلی یا اسپرو

۳- ملاحظات خنک کاری راهگاه

۴- دامنه ابزارهای موجود برای قالب سازی

نکات مهم در طراحی راهگاه:

۱- مساحت سطح مقطع راهگاه باید به اندازه ای بزرگ باشد که امکان منجمد شدن مذاب در راهگاه پیش از پر شدن کامل محفظه وجود نداشته باشد. فشار اضافی برای جبران انقباض مواد به محفظه اعمال می‌شود، به همین دلیل راهگاه با قطر کمتر از 2mm به ندرت کاربرد دارد.

۲- هر چه طول مسیر راهگاه بیشتر شود، مقاومت بیشتری در برابر جریان مذاب به وجود می‌آید. بنابراین فاصله بین محفظه و اسپرو پارامتر موثری در انتخاب اندازه مقطع راهگاه است.

۳- هر چه سطح مقطع راهگاه بیشتر باشد، حجم مواد بیشتری در راهگاه وجود دارد و زمان بیشتری برای خنک شدن آن مورد نیاز است تا بتوانیم مرحله باز شدن قالب را شروع و قطعه تزریقی را از قالب پران نمائیم. به همین دلیل ساخت راهگاه با قطر بیش از 10mm در اکثر موارد مناسب نیست. به هر حال مواد PVC و اکریلیک ها از این قاعده مستثنی هستند، چرا که این مواد دارای ویسکوزیته بالا می‌باشند.

۴- اندازه انتخاب شده برای راهگاه باید در دامنه ای سازگار با ابزارهای موجود قالبسازی باشد. در عمل اندازه هایی بین (2-13 mm) بیشترین کاربرد را دارد.

در اینجا یک رابطه تجربی برای اندازه راهگاه ارائه می‌شود که در قطعات تا وزن 200gr و ضخامت دیواره کمتر از3mm کاربرد دارد. برای PVC های سخت و اکریلیک ها باید قطر بدست آمده را تا ۲۵٪ افزایش داد.

$$D = \frac{\sqrt{L}}{}$$

D : قطر راهگاه (mm)

W : وزن قطعه (gr)

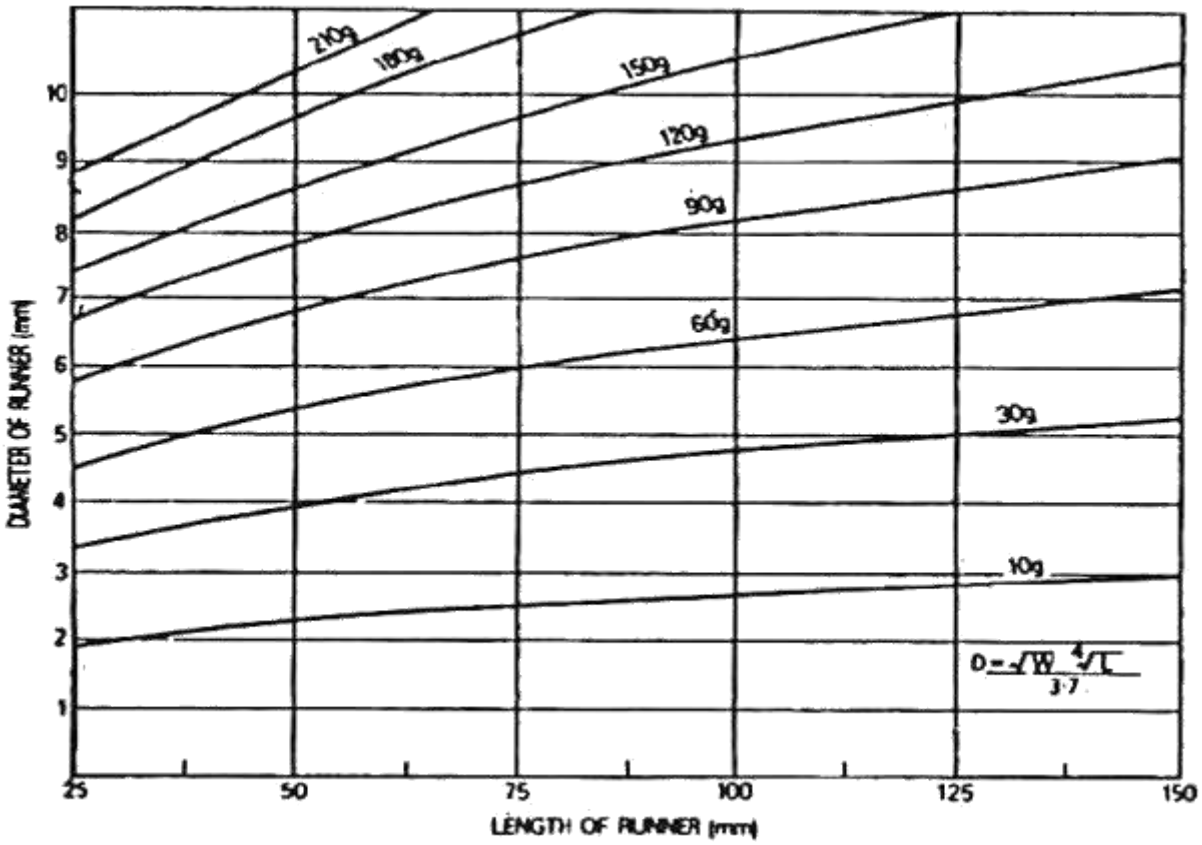
L : طول راهگاه (mm)

در هنگام استفاده از این رابطه باید توجه کرد :

۱- $2mm < D < 13mm$

۲- محاسبات را باید به سمت ابزار با قطر بالاتر گرد کرد.

در شکل زیر ارتباط بین قطر راهگاه، طول راهگاه و وزن قطعات تزریقی نشان داده شده است.



پیشنهاد برای قطر راهگاه در قطعاتی که ضخامت دیواره کمتر از ۳ میلیمتر دارند.

(محور افقی: طول راهگاه و محور عمودی: قطر راهگاه پیشنهادی).

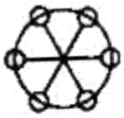
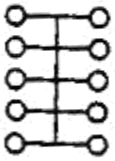
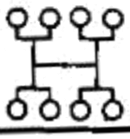
جانمایی راهگاه :

در طراحی جانمایی راهگاه همیشه دو نکته مهم را باید در نظر گرفت :

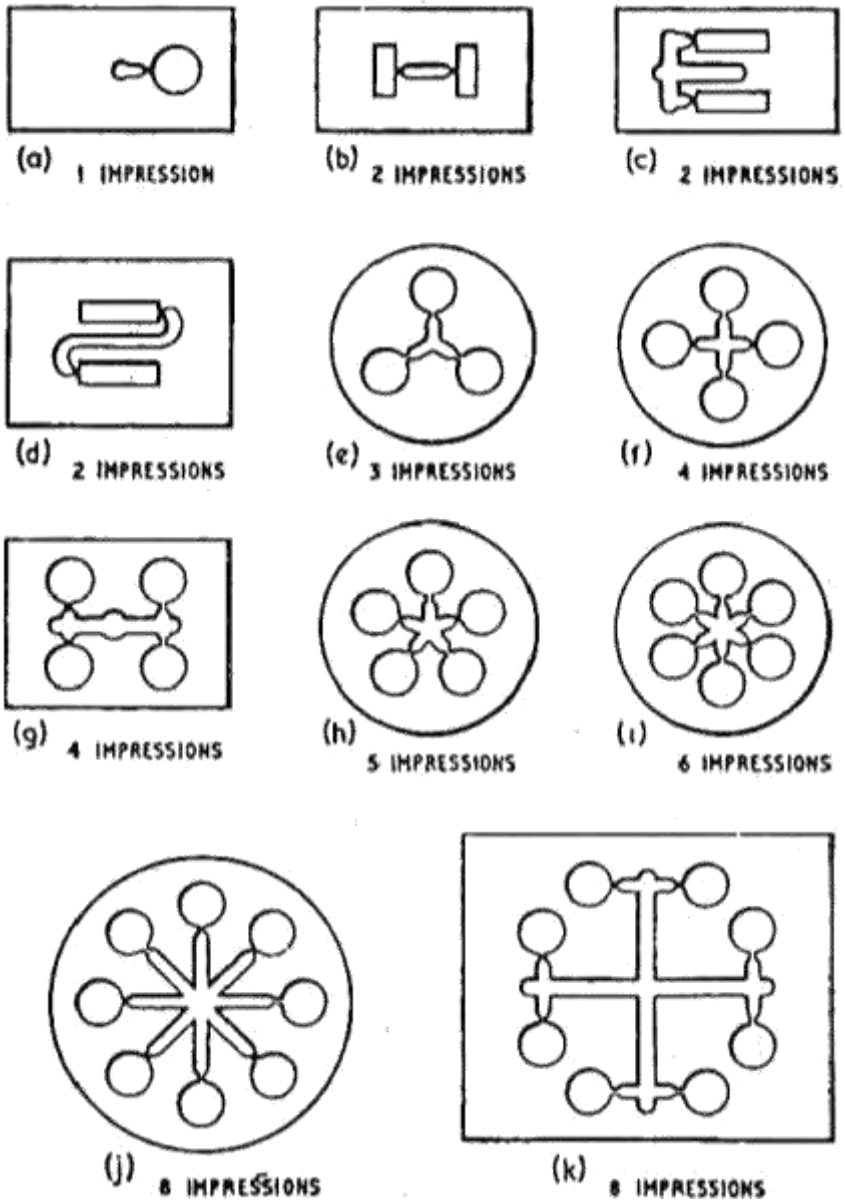
۱- طول راهگاه به خاطر کاهش افت فشار، باید کمترین مقدار باشد.

۲- سیستم راهگاهی همیشه متعادل باشد.

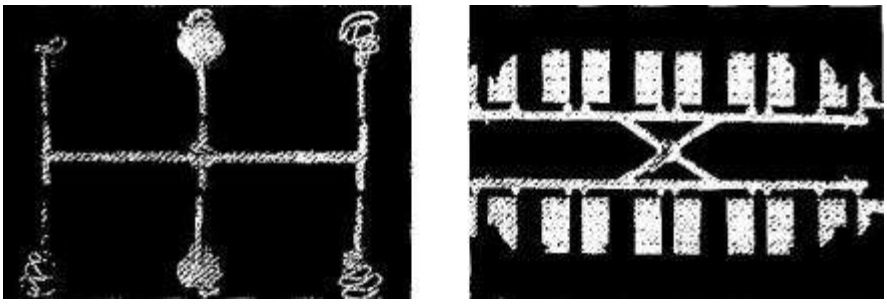
تعادل راهگاهها بدین معنی است که فاصله طی شده توسط مواد پلاستیک از اسپرو تا ورودی هر حفره باید در همه محفظه ها یکسان باشد، با این سیستم همه محفظه ها یکنواخت و پیوسته پر می‌شوند و ناحیه ورودی و مساحت مقطع ورودی یکسان برای تمام محفظه ها خواهیم داشت.

ضعف : تعداد محدودی حفره قالب می‌توان ایجاد کرد .	امتیاز : طول جریان مساوی به همه حفره‌های قالب، خروج راحت قطعه از قالب به خصوص برای قطعاتی که پران پیچی لازم دارند .	آرایش دایروی 
ضعف : طول جریان *نامساوی* به حفره‌های قالب، پرشدن یکنواخت فقط وقتی امکانپذیر است که قطر کانال (با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری مثل MOLDFLOW و CADMOLD) تصحیح شود .	امتیاز : فضا برای تعداد بیشتری حفره قالب نسبت به آرایش دایروی وجود دارد .	آرایش سری 
ضعف : حجم زیاد راهگاه، دورریز زیاد، سردشدن سریع مذاب . راه حل : مانیفلد گرم یا راهگاه عایق بندی شده	امتیاز : طول جریان مساوی به همه حفره‌های قالب بدون تصحیح گلویی تزریق	آرایش متقارن 

امتیازات و ضعف های چند نوع چیدمان



ترکیب متعادل راهگاهی، مذاب مسیر یکسانی را برای رسیدن به محفظه ها طی می کنند.



نحوه پرشدن محفظه های قالب با ترکیب نامتعادل راهگاهی

۲- ورودی (Gate)

ورودی کانالی است که راهگاه را به محفظه متصل می‌کند. در مقایسه با بقیه سیستم تزریق ورودی دارای سطح مقطع کوچکتری است.

این مساحت کوچک به دلایل زیر مورد نیاز است :

۱- ورودی بلافاصله پس از پر شدن منجمد می‌شود. بنابراین زمانی که پیستون تزریق به سمت عقب حرکت می‌کند، احتمال مکش مواد از داخل محفظه از بین می رود.

۲- جداکردن ورودی از قطعه راحتتر است و در بعضی از قالبها این عمل می تواند به صورت اتوماتیک انجام شود.

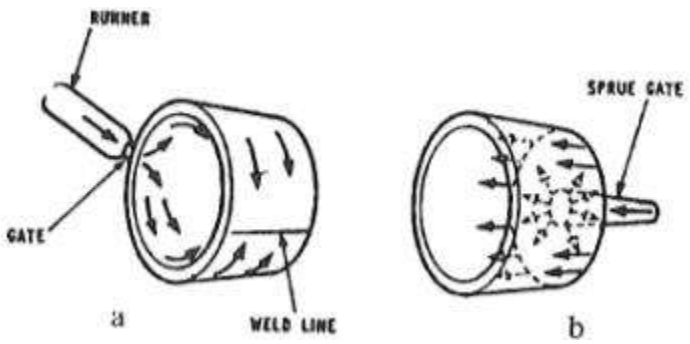
۳- بعد از جدا کردن ورودی، اثر کوچکی روی قطعه باقی می‌ماند.

۴- پر کردن قالبهای چند محفظه ای را بهتر می توان کنترل کرد.

ابعاد ورودی را با دو پارامتر سطح مقطع ورودی و طول آن می توان بیان کرد.

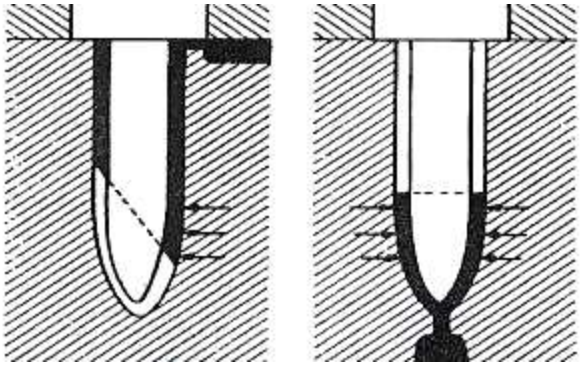
موقعیت ورودی

در حالت ایده آل موقعیت ورودی باید چنان باشد که یک جریان آرام مذاب در محفظه ایجاد شود ، به صورتی که محفظه یکنواخت پر شود و با گسترش مواد پیشرو در یک زمان، مواد به تمامی‌گوشه های محفظه برسد. در این روش اگر جبهه مواد پیشرو با یکدیگر برخورد کنند، خط جوش به وجود می‌آید. در این خط جوش ضعف مکانیکی و عیوب سطحی ایجاد می‌شود. موقعیت ایده آل برای ورودی به شکل قطعه بستگی دارد. در قطعات گرد مانند یک فنجان یا یک مخروط، مواد از کف فنجان یا از نوک مخروط تزریق می‌شود. شکل زیر جریان مواد وقتی که مواد از کف با زمانی که از دیواره تزریق می‌شود را مقایسه می‌کند.



موقعیت ورودی: (a) ورودی از لبه یک قطعه فنجانی شکل (به خط جوش ایجاد شده نهایی توجه کنید.)
(b) همان قطعه با ورودی اسپرویی (به جریان یکنواخت مواد توجه کنید.)

دلیل دیگری برای قرار دادن ورودی در نوک قطعه باریک شبیه سر خودکار این است که ورودی از کنار باعث خم شدن ماهیچه بلند و باریک می‌شود. این مسئله بدین دلیل است که وقتی ورودی در کنار باشد ، سریعا یک سمت قالب پر شده و در نتیجه اختلاف فشار در دو قسمت ماهیچه به وجود می‌آید و باعث می‌گردد تا ماهیچه از موقعیت خود انحراف پیدا کند. شکل زیر وضعیت در هر دو حالت a و b را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل b مشاهده می‌شود، زمانی که تغذیه از مرکز باشد، جریان آرام باعث می‌شود تا ماهیچه در موقعیت خود ثابت بماند.

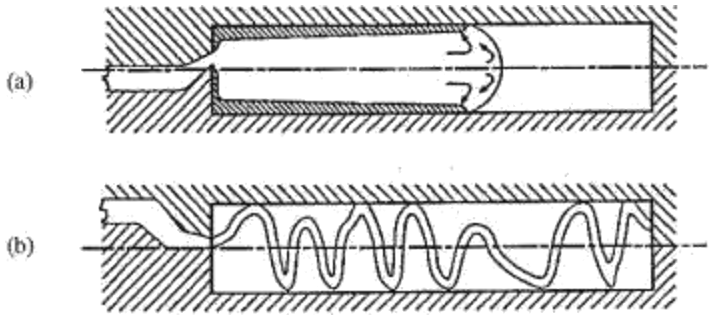


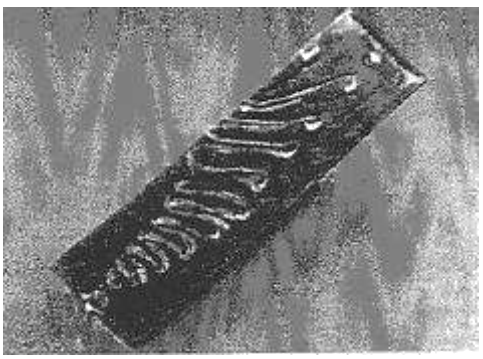
موقعیت ورودی برای یک قطعه سر خودکاری

(a) ورودی لبه ای (به تغییر شکل ماهیچه توجه کنید).

(b) ورودی پینی، تزریق از کف (جریان مواد به صورت تئوریک ماهیچه را در مرکز نگه می دارد.)

نحوه ورود مواد مذاب در لحظه اول به درون محفظه قالب از اهمیت بالایی برخوردار است. مواد از طریق ورودی با برخورد به یک مانع به درون محفظه هدایت می‌شود در غیر این صورت از آنجایی که سرعت مواد مذاب در راهگاه ها نسبتا بالا می‌باشد، در صورت متصل نمودن مستقیم راهگاه به محفظه قالب، مشکلاتی برای قطعه مورد نظر رخ میدهد که می توان به ایجاد عیب جت شدن مذاب (Jetting) اشاره نمود که در این حالت روی قطعه نهایی خطوطی ایجاد می‌گردد که در شکل زیر نمونه ای از آن قابل مشاهده است.





ایجاد عیب جت شدن مذاب در اثر ورود ناگهانی مذاب به محفظه قالب

انواع ورودی :

برای بدست آوردن بهترین حالت پر شدن قالب ، نوع ورودی را باید به دقت انتخاب نمود. انواع ورودیهایی که کاربرد عمومی دارند ، عبارتند از :

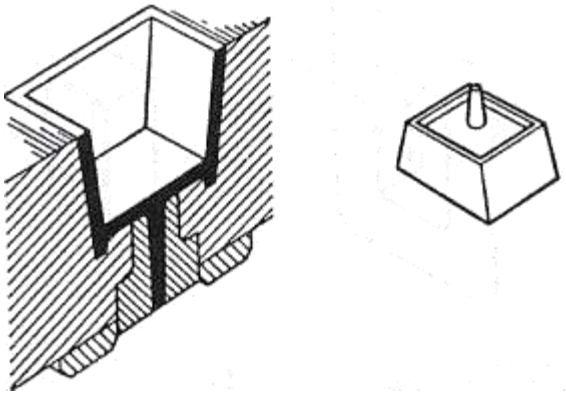
۱- اسپرویی
۲- لبه ای
۳- پوششی
۴- بادبزنی
۵- برگه ای
۶- دیافراگمی
۷- حلقه ای
۸- فیلمی
۹- پینی
۱۰- لبه ای گرد
۱۱- تونلی
۱۲- وینکل

ورودی اسپرویی(Sprue Gate)

زمانی که قطعه مستقیما از اسپرو یا از یک اسپرو ثانویه تغذیه شود، مقطع تغذیه را ورودی اسپرویی گویند. این نـوع ورودی برای حالتی که قطعه مورد نظر شبیه لیوان می‌باشد مناسب است. بزرگترین عیب این روش باقی ماندن اثـر در محـل اتصـال اسپرو به محفظه بر روی قطعه است.

اندازه این اثر به عوامل زیر بستگی دارد :

۱- قطر کوچک اسپرو (قطر نازل ماشین)
۲- زاویه اسپرو
۳- طول اسپرو

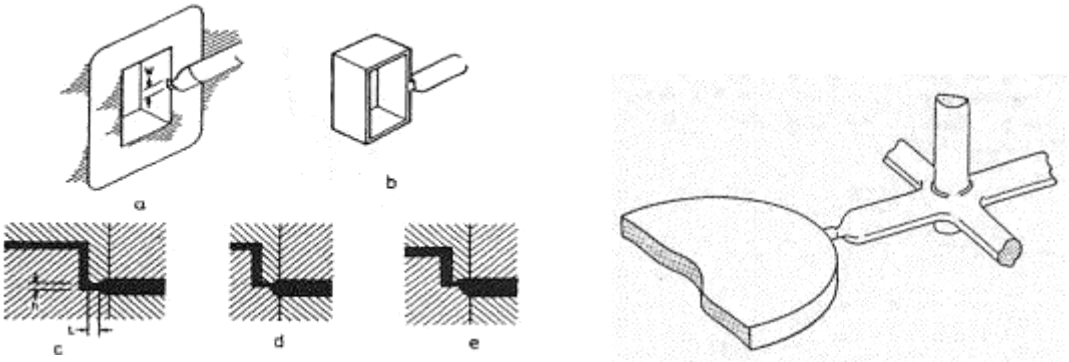


ورودی اسپرویی

ورودی لبه ای (Side or Edge Gate)

این نوع ورودی رایجترین نوع ورودی است و شکل ساده آن با ماشینکاری یک کانال چهار گوش روی یک صفحه قالب برای اتصال راهگاه به محفظه ایجاد می‌شود. ابعاد ورودی به شکل قطعه و ضخامت آن بستگی دارد. در قالب های چند حفره ای سطح مقطع ورودی های (Gate) نزدیک به راهگاه اصلی کوچکتر است از سطح مقطع ورودی هایی که در فاصله دورتری از راهگاه اصلی قرار دارند.

شکل زیر برش مقطعی از جزئیات اجزای یک قالب با این نوع راهگاه را نشان می‌دهد :



ورودی لبه ای با مقطع چهارگوش

(a) ماشینکاری ورودی روی صفحه حفره(b) قطعه تزریقی همراه با ورودی متصل به آن

(c) برش مقطع از قالب(d)و (e) شکلهای دیگر

مزیتهای این نوع ورودی عبارتند از :

۱- شکل این نوع ورودی ساده و ساخت آن کم هزینه است.

۲- ابعاد ورودی را می توان با دقت خوبی ساخت.

۳- اندازه های ورودی را می توان به راحتی و به سرعت تصحیح کرد.

۴- همه مواد رایج پلاستیک را با این نوع ورودی می توان تزریق نمود.

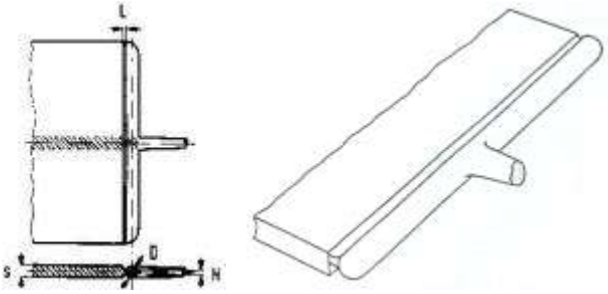
ورودی ورقه ای (Flash Gate)

برای قطعات بلند و مسطح این نوع ورودی، مطلوبترین انتخاب می‌باشد. به طور معمول طول این نوع ورودی حدود ۵۰٪ بزرگترین طول قطعه می‌باشد. امتیاز های این گلویی عبارتند از:

۱- سمت گیری موازی در کل عرض نمونه (برای قطعاتی که کاربرد نوری دارند مهم است)

۲- اثر نامطلوب گلویی تزریق بر سطح وجود ندارد.

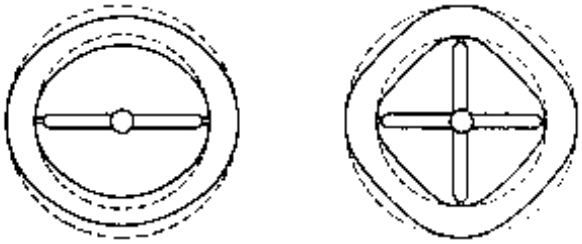
۳- انقباض یکنواخت در جهت جریان و در جهت عرضی



ورودی ورقه ای

ورودی پره ای(Spoke Gate)

فرض شود که هدف تولید یک بوش پلاستیکی می‌باشد. به چندین روش می توان محفظه قالب تولید بوش را پر نمود که یک روش استفاده از ورودی پره ای می‌باشد که در شکل نمونه ای از آن مشاهده می‌شود.



استفاده از ورودی پره ای جهت تولید بوش

استفاده از این نوع ورودی می تواند باعث بروز مشکلاتی در بوش ایجاد شده گردد که می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

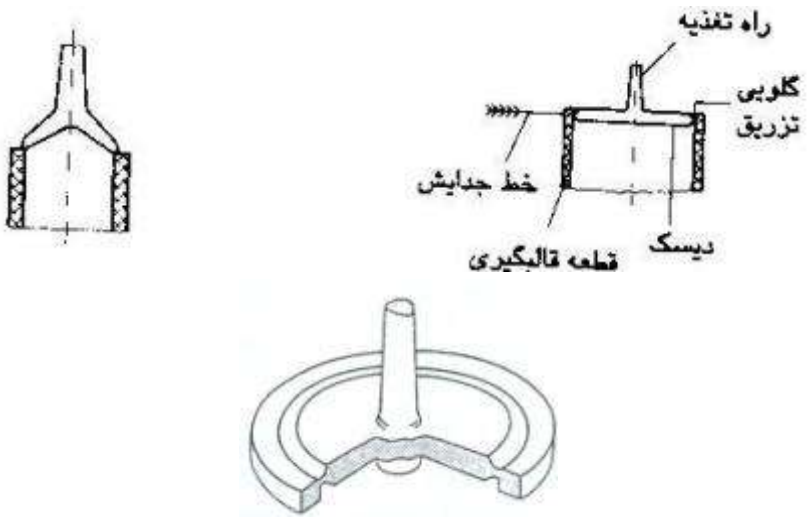
۱- به دلیل اینکه مواد از نواحی مختلفی وارد محفظه قالب می‌شوند، درون محفظه قالب در محل هایی که جبهه مذاب دوباره به یکدیگر می رسند خط جوش ایجاد می‌گردد که از لحاظ مکانیکی مناطق ضعیفی محسوب می‌شوند که در یک بوش این مناطق عیب بزرگی محسوب می‌شوند.

۲- به دلیل نایکنواخت سرد شدن مناطق مختلف دیواره بوش، احتمال خروج از گردی (Out of Roundness) بوش وجود دارد.

۳- به دلیل وجود چنین مشکلاتی، ورودی های مختلف دیگری جهت تولید بوش پیشنهاد شده است که می توان به ورودی دیسکی اشاره نمود.

ورودی دیسکی (Disk Gate)

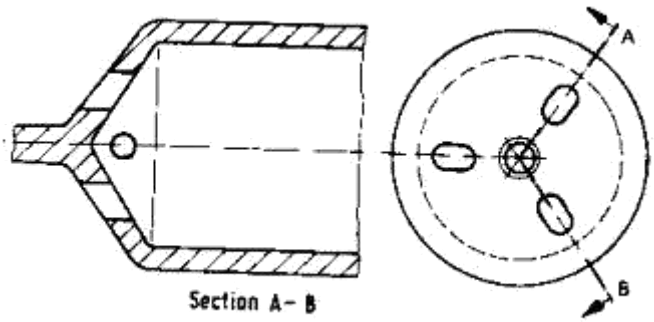
در این نوع وردی که در شکل زیر دو نوع مخروطی و ساده آن نشان داده شده است، مواد مذاب به صورت یکنواخت وارد محفظه قالب می‌شوند و بنابراین دیگر خط جوش ایجاد نمی‌شود. همچنین احتمال خروج از گردی بوش در حال تولید کمتر می‌باشد.



ورودی دیسکی (ساده و مخروطی)

در این نوع ورودی میزان دور ریز مواد نسبت به ورودی پره ای بیشتر است که از عیوب این نوع ورودی می‌باشد. در صورتی که طول بوش مورد نظر جهت قالبگیری افزایش یابد به منظور جلوگیری از انحراف ماهیچه بلند به کار رفته در محفظه قالب

به دلیل فشار مذاب، نیاز به مهار نمودن ماهیچه از دوسمت آن می‌باشد. بنابراین در صورتی که هدف تولید بوش بلند (نسبت طول به قطر بزرگتر از ۵) باشد و از ورودی دیسکی استفاده گردد، مشاهده می‌شود که ایجاد خط جوش اجتناب ناپذیر است.

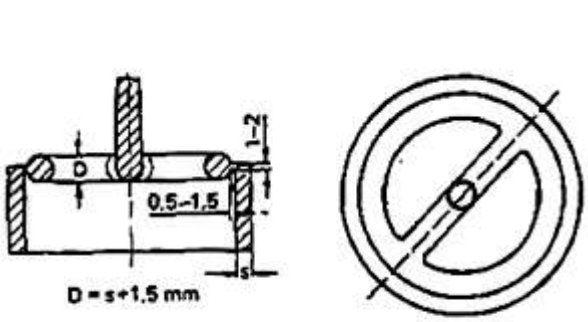


گلویی تزریق دیسکی- مخروطی با سوراخ هایی جهت نگه داری ماهیچه

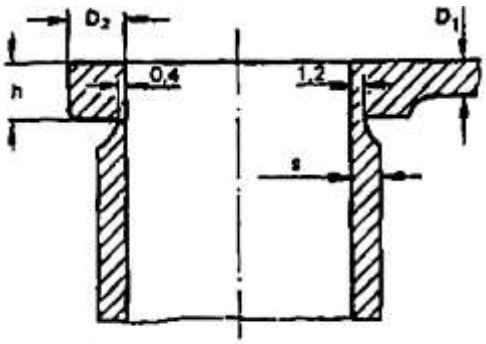
به منظور برطرف نمودن این عیب برای تولید بوش های طویل، استفاده از گلویی حلقوی پیشنهاد شده است.

گلویی حلقوی (Ring Gate)

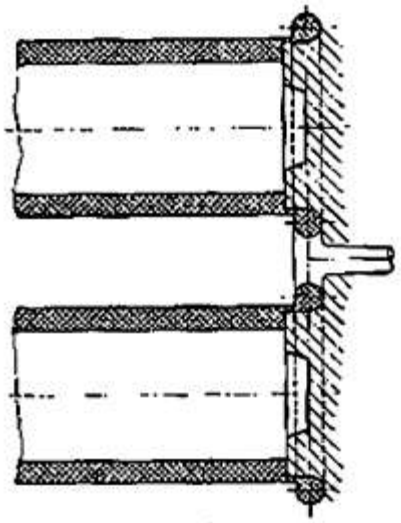
این نوع گلویی را می توان جهت تولید بوش های بلند به کار برد بدون آنکه تداخلی در نگه داری ماهیچه ایجاد کند و همچنین عیب ایجاد خط جوش نیز مرتفع می‌گردد.



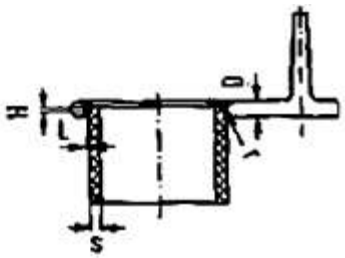
گلویی تزریق حلقه‌ای داخلی



گلویی تزریق حلقه‌ای با مقطع مستطیل



بوشهایی با گلوییهای تزریق حلقه‌ای و قطعاتی برای نگهداری ماهیچه



گلویی تزریق حلقه‌ای با مقطع دایروی

$D = s+1,5\ mm$ تا $\frac{4}{3}s + k$

$L = 0,5 - 1,5\ mm$

$H = (2/3)s$ تا $1-2\ mm$

$r = 0,2\ s$

برای طول جریان کوتاه و مقطع نازک $k = 2$

برای طول جریان بلند و مقطع نازک $k = 4$

انواع گلویی تزریق و ابعاد پیشنهادی برای گلویی تزریق

اندازه ورودی :

با توجه به مقطع چهار گوش ورودی، ابعاد آن را می توان با سه عدد: عرض w - عمق h - طول L نشان داد. افت فشار در ورودی مستقیما به اندازه طول بستگی دارد. بنابراین این طول را می بایست کمترین مقدار ممکن در نظر گرفت. در عمل این اندازه بین 0.5-0.75 mm مطلوب است.

حداقل اندازه عمق ورودی، زمان باز بودن ورودی را کنترل می‌کند. مقدار این زمان باز بودن ورودی باید کافی باشد تا مواد بتواند به تمامی‌گوشه های محفظه برسد. عمق ورودی براساس ضخامت دیواره قطعه بسته به حداکثر طول مسیری که مواد جریان می یابد، باید درست انتخاب شود.

در عمل معادله تجربی زیر برای عمق ورودی وجود دارد :

$$h = n \times t$$

h : عمق ورودی mm

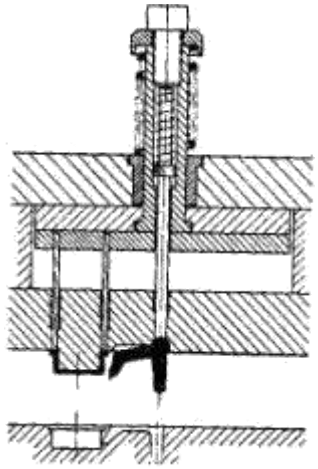
t : ضخامت دیواره مقطع قطعهmm

n : ثابت مواد مطابق زیر:

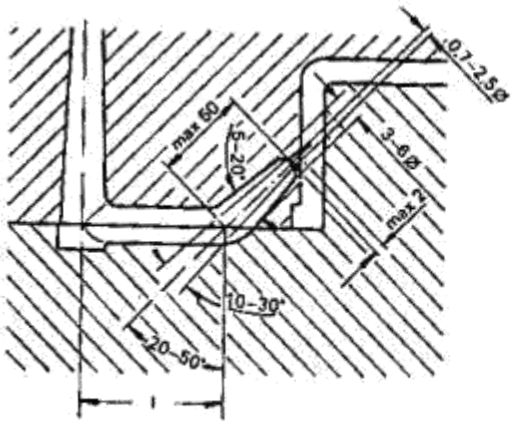
گروه ۱ :	پلی اتیلن، پلی استایرن	n=0.6
گروه ۲ :	پلی استال، پلی کربنات، پلی پروپیلن	n=0.7
گروه ۳ :	سلولز استا C، نایلون، پلی متال متاکربنات	n=0.8
گروه ۴ :	PVC	n=0.9

گلویی تونلی (Submerge Gate) :

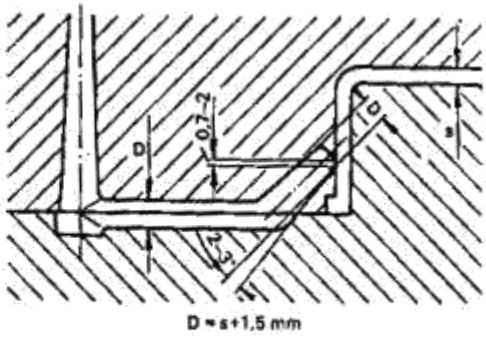
این نوع گلویی اصولا در قالبهای چند حفره ای برای تولید قطعات کوچک که می توان به صورت جانبی آنها را تزریق نمود به کار می رود. این گلویی تنها سیستم گلویی تزریق خودجداساز با یک خط جدایش است که به صورت اتوماتیک عمل می‌کند. قطعه و راهگاه در صفحه یکسانی که از خط جدایش می‌گذرد قرار دارد. راه گاهها به نقطه ای نزدیک به حفره قالب کشیده شده و در آنجا زاویه دار می‌شوند. انتهای آنها سوراخ مخروطی دارند که از طریق گلویی به حفره های قالب متصل است.



ورودی تونلی با پران اتوماتیک



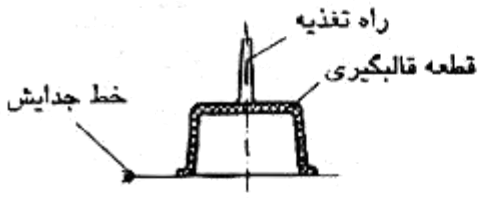
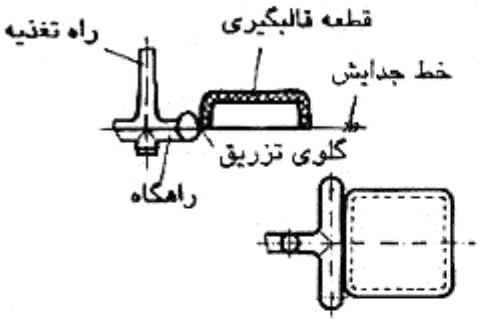
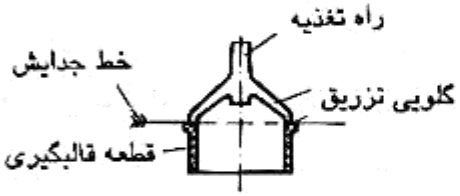
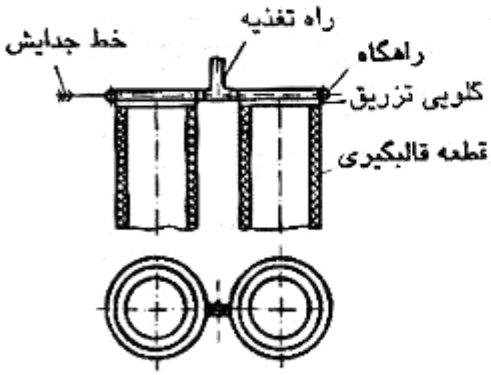
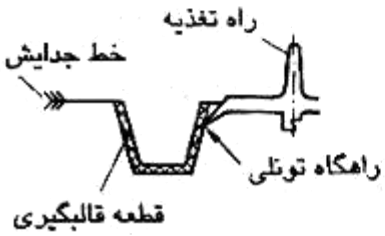
شکل ۱۸۹ گلویی تزریق تونلی با تونل مخروطی نقطه‌ای [6]



شکل ۱۹۰ گلویی تزریق تونلی با تونل مخروطی ناقص [6]

جهت بیرون اندازی، قطعه و سیستم راهگاه باید در نیمه متحرک قالب قرار بگیرد. همانگونه که در شکل بالا مشاهده می‌شود، گلویی تزریق به محض باز شدن قالب بریده می‌شود و سپس قطعه و سیستم راهگاه بیرون انداخته می‌شود.

در جدول زیر انواع ورودی ها با یکدیگر مقایسه شده اند.

نوع گلویی تزریق		مشخصات
راه تغذیه (گلویی تزریق) (مخروطی)		کاربرد : برای مواد ویسکوزیته بالا و حساس به دما، قطعات کیفیت بالا و قطعاتی که مقاطع سنگین دارند . امتیاز : کیفیت بالا و ابعاد دقیق به دست می‌آید. ضعف : عملیات اضافی برای جداکردن راه تغذیه، اثر محل گلویی تزریق مشخص است.
گلویی لبه‌ای		کاربرد : برای قطعاتی که سطوح بزرگ دارند مثل صفحات و تسمه ها امتیاز : خطوط برخورد ندارد، کیفیت بالا، ابعاد دقیق ضعف : عملیات اضافی برای جداکردن گلویی تزریق
گلویی دیسکی		کاربرد : برای قطعاتی که تقارن محوری دارند و ماهیچه فقط در یک سمت نصب شده است . امتیاز : خطوط برخورد ندارد و استحکام کم نمی‌شود . ضعف : عملیات اضافی برای جداکردن گلویی تزریق
گلویی حلقه‌ای		کاربرد : برای قطعات بوش مانند که ماهیچه در هر دو سمت نصب شده است . امتیاز : ضخامت یکنواخت دیواره در محیط ضعف : خط برخورد جزئی، عملیات اضافی برای جداکردن گلویی تزریق
گلویی تونلی (گلویی زیرآبی)		کاربرد : اصولاً برای قطعات کوچکتر در قالبهای چند حفره‌ای و برای مواد الاستیک به کارمی‌رود . امتیاز : جدایی گلویی تزریق به صورت اتوماتیک ضعف : به علت افت فشار زیاد فقط برای قطعات ساده قابل استفاده است .

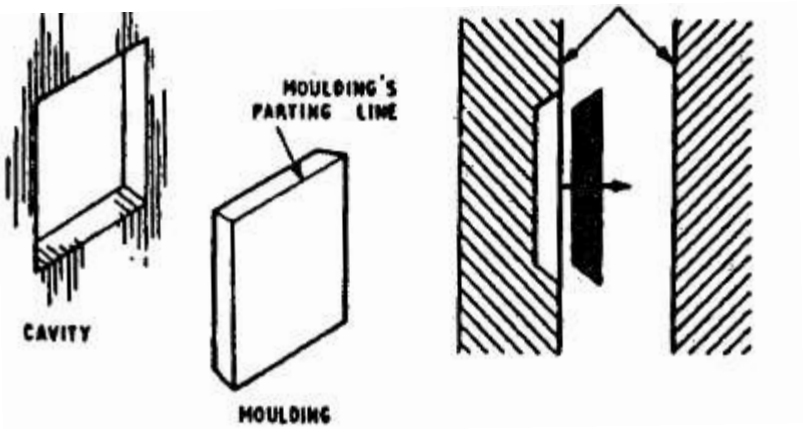
سطح جدایش

مقدمه :سطوح جدایش یک قالب به بخش هایی از سطوح در صفحه قالب گفته می‌شود که در مجاورت محفظه با یکدیگر جفت شده و محفظه را آب بندی می کنند و اجازه نمی‌دهند تا مواد پلاستیک از محفظه خارج شوند. سطوح جدایش را می توان به دو دسته کلی تخت و غیر تخت تقسیم نمود. برای سطح جدایش غیر تخت می توان انواع پله دار، منحنی دار و زاویه دار را مثال زد.

در حالت کلی سطح جدایش تخت، ساده ترین سطح جدایش از نظر ساخت و مونتاژ است. سطح آن را به راحتی می توان سنگ زنی و آب بندی نمود. در فرایند آب بندی کردن صفحات قالب باید دو سطح صفحات با یکدیگر کاملا جفت شوند. برای این منظور بر روی سطح یکی از صفحات قالب رنگ لاجوردی مالیده و سپس سطح دیگر قالب، روی آن گذاشته می‌شود. پس از آن بلندی های رنگی موجود بر روی سطح مشخص شده و پس از صاف کردن آنها، دو سطح زمانی کاملا آب بندی می‌شوند که با آزمون فوق، یک فیلم رنگ یکدست بین دو نیمه تشکیل می‌شود.

سطح جدایش تخت

شکل سطح جدایش بستگی به شکل قطعه دارد. برای مثال قطعه تزریقی چهار گوش شکل زیر را در نظر بگیرید. حفره این قطعه روی صفحه قالب ایجاد شده است.

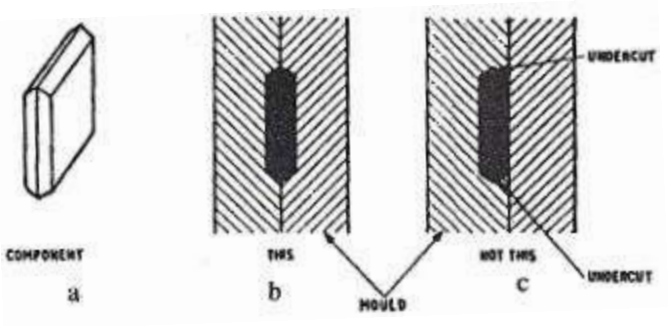


شکل: خط جدایش قطعه تزریقی و سطح جدایش قالب

در این مثال سطح جدایش در بالای قطعه است و یک سطح کاملا تخت می‌باشد. این سطح جدایش برای شکل ظاهری قطعه بهترین سطح جدایش می‌باشد، زیرا در خط جدایش به جز در زمان وجود فلاش مواد، اثر آن قابل توجه نیست.

فلاش: جریان نازکی از مواد پلاستیک است که در هنگام تزریق به دلیل جفت نشدن سطوح جدایش در بین صفحات جاری می‌شود.

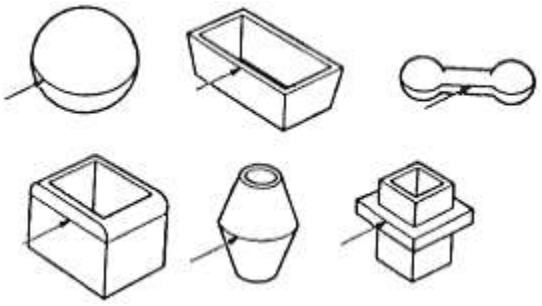
نکته دیگری که در انتخاب سطح جدایش باید در نظر گرفت امکان خارج کردن قطعه تزریقی از قالب است. در شکل زیر یک قطعه تزریقی چهار گوش که دارای دو لبه گوه ای شکل است نشان داده شده است. بدیهی است که خط جدایش برای اینگونه قطعات سطح بالای قطعه نیست در این مورد بهترین انتخاب سطح جدایش در محل برخورد لبه های گوه ای شکل با یکدیگر است، هر دو نیمه قالب باید نیمی از قطعه را شکل بدهند.



شکل: انتخاب سطح جدایش کاربردی و غیر کاربردی

به اختصار می توان گفت در نمای پلان، خط جدایش باید در مجاورت بزرگترین اندازه ها باشد، اگر این خط در روی یک صفحه واقع شود، در نتیجه سطح جدایش تخت است.

در شکل زیر قطعات نمونه تزریقی که می توان در آنها سطح جدایش را تخت در نظر گرفت نشان داده شده اند. پیکان ها محل خط جدایش روی قطعه تزریقی را مشخص می‌کند.



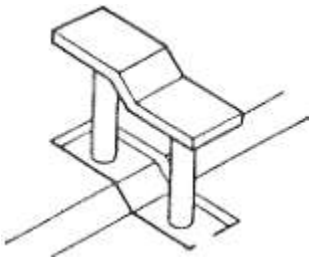
شکل: قطعات تزریقی نمونه که در انها استفاده از سطح جدایش تخت امکان پذیر است

سطح جدایش غیر تخت

در بعضی از قطعات تزریقی الزاما تمام خطوط جدایش در یک صفحه نبوده و حتی بر روی سطوح منحنی شکل قرار دارند. در این حالت ها سطح جدایش قالب باید پله دار، منحنی دار و یا زاویه دار باشد.

سطح جدایش پله دار

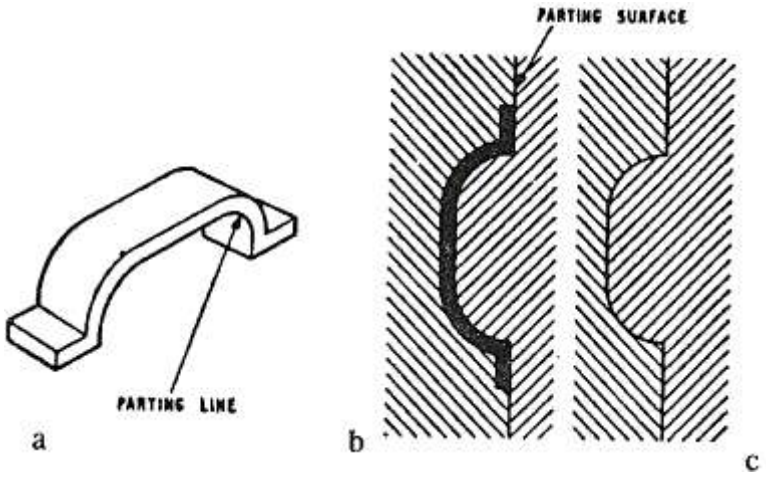
قطعه Z-شکل زیر را در نظر بگیرید. حداکثر اندازه های قطعه وقتی از بالا به قطعه نگاه می کنیم در قسمت بالای شکل قرار می‌گیرد. بنابراین اگر این شکل پله دار باشد سطح جدایش قالب نیز باید به همان صورت پله دار باشد. توجه کنید اگر لبه قطعه نسبت به سطح قطعه گونیا باشد (به جزمسئله شیب قالب) حفره را می توان روی یک نیمه قالب به وجود آورد. اگر بر روی لبه ها یک شعاع وجود داشته باشد باید سطح جدایش در وسط ضخامت قطعه باشد و در دو نیمه قالب شکل قطعه ایجاد شود .



شکل: سطح جدایش پله دار

سطح جدایش منحنی دار

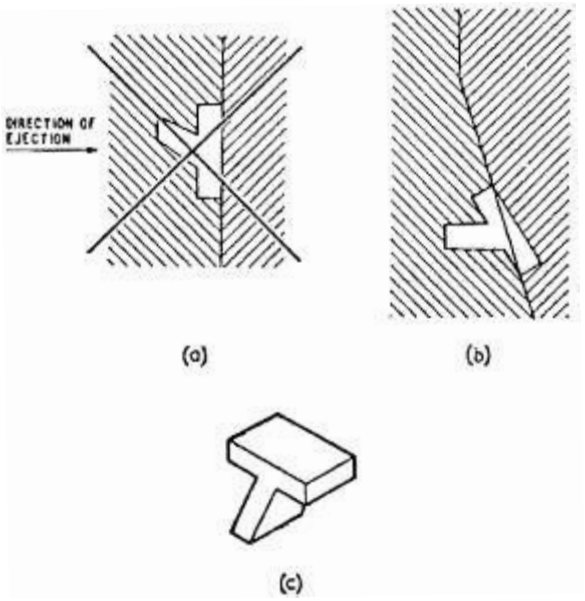
در شکل زیر یک مثال از این نوع سطح جدایش نشان داده شده است قطعه تزریقی در شکلa نشان داده شده است. توجه داشته باشید که اگر چه سطح مقطع ثابتی در طول قطعه تزریقی وجود دارد، ولی قطعه دارای نمای جانبی منحنی شکل است. اگر لبه قطعه نسبت به سطح گونیا باشد (به جز زاویه شیب قالب)، شکل را می توان در یک نیمه قالب ایجاد کرد. بنابراین شکل عمومی خط جدایش شکل نمای جانبی قطعه تزریقی است (b). برای قالبهای چند محفظه ای ساده تر است که مقطع سطح جدایش در سرتاسر سطح قالب ایجاد شده و محفظه ها بر روی آن ایجاد شوند.



شکل:سطح جدایش منحنی دار

سطح جدایش زاویه دار

یک طراح مکرراً به قطعاتی برخورد می‌کند که شکلهای بسیار بی قاعده ای دارند که در صورت استفاده از سطح جدایش تخت نمی توان قطعات را از قالب پران نمود. شکل زیر یک چنین حالتی را نشان می‌دهد (قطعه در شکل c نشان داده شده است). در هر حال با استفاده از سطح جدایش زاویه دار (b) تمامی سطوح قطعه در قالب به نحوی قرار می‌گیرند که امکان پران وجود داشته باشد.

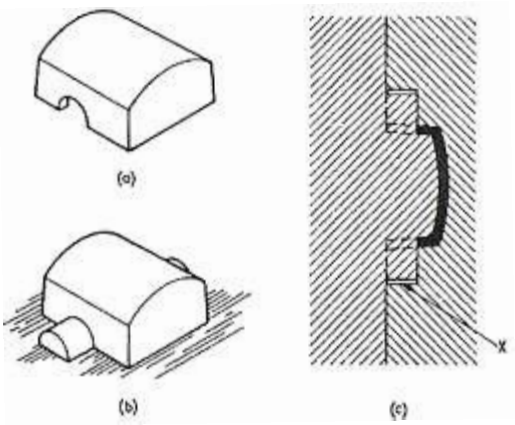


شکل: سطح جدایش زاویه دار

a) طرح غیر کاربردیb) طرح کاربردیc) قطعه تزریقی

سطح جدایش منحنی دار و پله موضعی

مکررا لازم است که سطح جدایش منحنی دار و یا پله دار با یک یا دو سطح کوچک بی قاعده ترکیب شود. بهتر است در مقطعی که سطح جدایش تغییر می‌کند، از اینسرتهای موضعی استفاده شود تا امکان صاف بودن سطوح جدایش وجود داشته باشد. برای مثال در شکل زیر (a) یک جا صابونی نشان داده شده است. در این قطعهٔ مشخص، ما دو چاک نیم گرد داریم. این چاکهای نیم دایره ای به راحتی با اینسرت موضعی برآمده که روی صفحه قالب نصب شده است ایجاد می‌شوند (b)، عکس این برآمدگی روی حفره قالب فرورفته است. در شکل (c) یک مقطع برش خورده از مجموعه نشان داده شده است. توجه داشته باشید که پروفیل برآمدگی فقط در ناحیه حفره آب بندی میباشد و لقی کمی در انتهای برآمدگی با حفره وجود دارد.

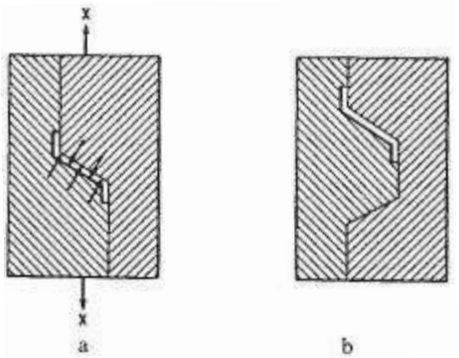


شکل: سطح جدایش به صورت موضعی منحنی دار

متعادل کردن سطوح قالب

زمانی که سطح جدایش قالب تخت نباشد، مسئله ای که باید در نظر گرفته شود نیروی غیر متعادلی است که در بعضی موارد در قالب ایجاد می‌شود. با یک مثال این موضوع را بهتر می توان شرح داد: در شکل زیر یک قالب با سطح جدایش پله دار نشان داده شده است. زمانی که مواد پلاستیک با فشار وارد محفظه می‌شوند، نیروی جانبی به وجود می‌آید و این نیرو تمایل دارد قالب را در جهت x از هم باز کند.

در صورتی که قالب کمی از هم جدا شود ممکن است مقداری فلاش در روی سطح شیبدار به وجود آید که از حرکت بین دو صفحه قالب توسط میله های راهنما جلوگیری می‌شود اما با این وجود نیروها بسیار قوی اند و بهتر است تعادلی در سطوح قالب به وجود آید. برای متعادل کردن سطوح، از یک سطح انطباقی قرینه سطحی که شامل محفظه است استفاده می‌شود (شکل b). این موضوع یکی از عواملی است که در هنگام تعیین تعداد محفظه های قالب باید در نظر گرفت. وقتی از این طرح استفاده می‌شود چنانچه محفظه ها روی کناره های قالب نسبت به خط مرکز آرایش داده شوند، قالب متعادل می‌شود.



شکل: متعادل کردن سطح قالب: (a) غیر متعادل (b) متعادل

آزاد سازی سطوح جدایش

ما تاکنون فرض کردیم که آب بندی روی سرتا سر سطح جدایش انجام می‌شود که این کار غیرعملی است. این کار نـه تنهـا خیلی پرهزینه است بلکه روی راندمان عملکرد قالب نیز اثر می‌گذارد. اثر متقابل فشار تزریق همان فشار اعمـال شـده توسـط مذاب پلاستیک است.

در تئوری از فرمول پایه هیدرواستاتیک استفاده می‌شود :

$$P = \frac{F}{A}$$

P: فشار تزریق تئوری $(\frac{N}{m^2})$

F: نیروی اعمال شده (N)

A: مساحت پیستون تزریق (m^2)

به دلایل زیر فشار واقعی که در داخل حفره عمل می‌شود به صورت قابل ملاحظه ای کمتر از مقدار تئوریک آن است:

۱- مذاب یک سیال غیر نیوتنی است.

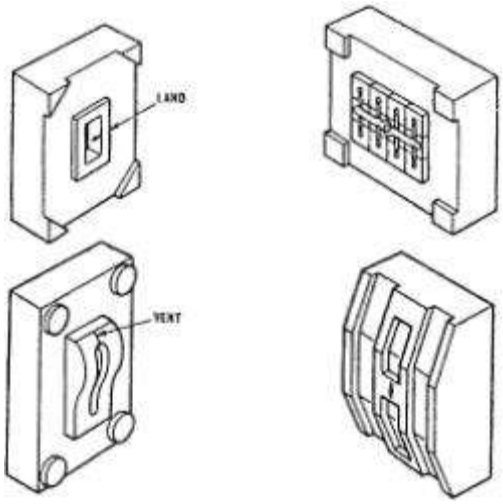
۲- ویسکوزیته مذاب به تدریج که در قالب عبور کرده و سرد می‌شود افزایش میابد.

۳-فشار واقعی در داخل محفظه بستگی به طول مسیر مانند اسپرو، راهگاه و ... دارد.

در عمل مقدار موثر این فشار بین ۲۵ تا ۴۵ در صد فشار تئوری است و بستگی به مواد و ضخامت دیواره قطعه تزریقی دارد. مواد با ویسکوزیته پایین از قبیل نایلون نسبت به مواد با ویسکوزیته بالاتر فشارهای بالاتری را انتقال می‌دهند.

این محاسبه تئوریک به ما کمک می‌کند تا بتوانیم فشار داخل محفظه را به دست آوریم. این فشار موثر بر سطوح تصویریافته محفظه، راهگاه و ورودی اعمال می‌شود و نیرویی ایجاد می‌کند که این نیرو تمایل به باز کردن قالـب دارد. ایـن نیـرو توسـط نیروی گیره ماشین مهار می‌شود. معمولا مقدار نیروی قفل گیره را حداقل ۱۵٪ بیشتر در نظر می‌گیرند.

اگر فلاش اتفاق بیافتد نیرویی که تمایل به باز کردن قالب دارد افزایش می یابد. بـه همـین دلیـل بایسـتی سـطح فـلاش در محاسبات منظور شود و تا حد امکان این سطح محدود شود. بنابراین بایستی سطح مجاور محفظه و سیستم راهگاهی مساحت کمی داشته باشد این سطح باریک را ناحیه آب بندی می‌گویند. اگر عرض ناحیه آب بندی کافی نباشد در برابـر ایـن نیروهـا نمی تواند مقاومت کند و در نتیجه این باریکه فولاد تغییر شکل می‌دهد. برای جلوگیری از این موضوع عرض ناحیه آب بندی باید با توجه به جنس قالب بمیزان کافی در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن مسئله فلاش قالب می توان در گوشه های قالب برآمدگی قرار داد تا دو نیمه روی هم جفت شود.



شکل: آزاد سازی سطوح جدایش

تخلیه هوا

زمانیکه مواد پلاستیک وارد محفظه می‌شوند هوای داخل محفظه جابه جا می‌گردد. طبیعتاً هوای داخل محفظه مـی توانـد از بین صفحات مماس قالب فرار کند. اگر سطوح قالب کیفیت سطح خیلی خوب داشته باشد هوا در داخل حفره محبوس شده و باعث ایجاد اثرات نامطلوبی مانند مات شدن قطعه، پر نشدن کامل محفظه و اثرات مخرب دیگر بر روی قطعه می‌گردد.

در یک طرح خوب قالب باید خروجی هوا یا گاز (در صورت وجود) طراحی شده تا هوا با آزادی از محفظه خارج شود. معمولا امکان اینکه از قبل محل سوراخهای هوا مشخص شود وجود ندارد. در موقعیتهای زیر نیاز به خروجی های هوا می‌باشد:

۱-در منطقه ای که بیشترین فاصله از ورودی در قالبگیری متقارن دارد.

۲-در نقطه ای که احتمال برخورد جریان های مواد با یکدیگر وجود دارد.

۳-در کف برآمدگی ها

سیستمهای پران

دو نیمه قالب به تنهایی به دلیل عدم امکان برداشتن قطعه پس از شکل گیری در محفظه، یک طرح کامل با بازدهی خوب نیست بدلیل این که در این طرح قطعه می بایست با دست از داخل قالب برداشته شود. علاوه بر این کلیه مواد ترموپلاستیک به هنگام منجمد شدن منقبض می‌شوند وبر اثر این انقباض برداشتن قطعه از روی ماهیچه به سادگی امکان پذیر نیست و لذا منطقی است که در قالب سیستم هایی برای پران قطعات تدارک دیده شود. برای سیستم پران روی ماشین تزریق تجهیزاتی وجود دارد که از این تجهیزات برای خودکار کردن سیستم پران استفاده می‌شود. این تجهیزات در پشت صفحه متحرک ماشین ترزیق قرار دارد. اگر سیستم پران قالب در روی نیمه متحرک قالب قرار گیرد بسیار بهتر و موثرتر می تواند عمل پران قطعه را از روی قالب انجام دهد. قبلا ذکر شد که باید قطعه از روی ماهیچه پران شود بنابراین باید ماهیچه روی قسمت متحرک قالب طراحی شود.

بحث درباره سیستم های پران را با سه عنوان زیر می توان بیان نمود:

۱- محفظه پران

۲- مجموعه صفحه پران

۳- روشهای پران

محفظه پران (شبکه پران)

محفظه پران بخشی از قالب است که تکیه گاه صفحه قالب بوده و همچنین فضای مورد نیاز برای نصب و عملکرد مجموعه صفحه پران را ایجاد می‌کند. معمولا محفظه پران شامل کفشک متحرک و تکیه گاهها است.

سه طرح مختلف برای محفظه پران وجود دارد :

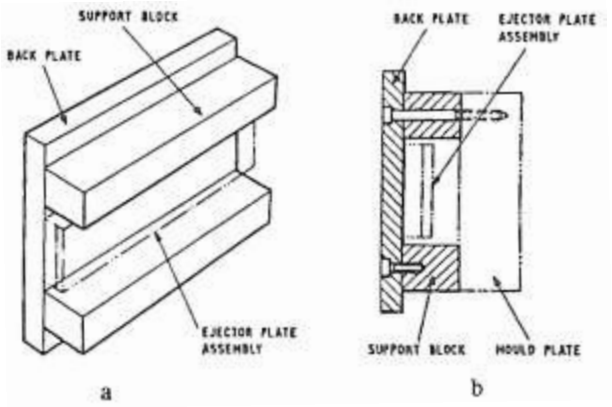
۱-محفظه پران خطی

۲-محفظه پران قابی

۳- محفظه پران با تکیه گاه گرد

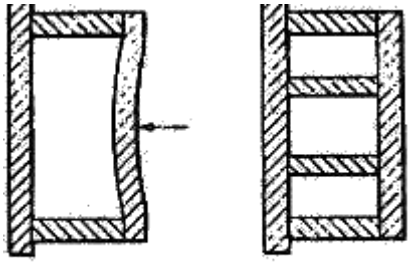
محفظه پران خطی

این محفظه شامل دو بلوک چهار گوش است که بر روی کفشک متحرک نصب شده اند.



محفظه پران خطی

مجموعه صفحه پران که به صورت خط نقطه نشان داده شده است در فضای بین دو بلوک نصب می‌شوند. این طرح در قالبهای کوچک کاربرد دارد که ابعاد مجموعه صفحه پران آن به اندازه ای است که فاصله زیادی بین تکیه گاهها ایجاد نمی‌کند. اگر فاصله بین بلوکها زیاد باشد و یا ضخامت صفحه قالب به اندازه کافی نباشد مطابق شکل زیر (a) به دلیل نیروی اعمال شده در زمان ترزیق امکان تغییر شکل صفحه قالب وجود دارد. برای جلوگیری از افزایش بیش از حد ضخامت صفحه قالب که باعث بزرگی و سنگین قالب می‌گردد، از یک سری تکیه گاههای اضافی درناحیه مرکزی قالب استفاده می‌شود.

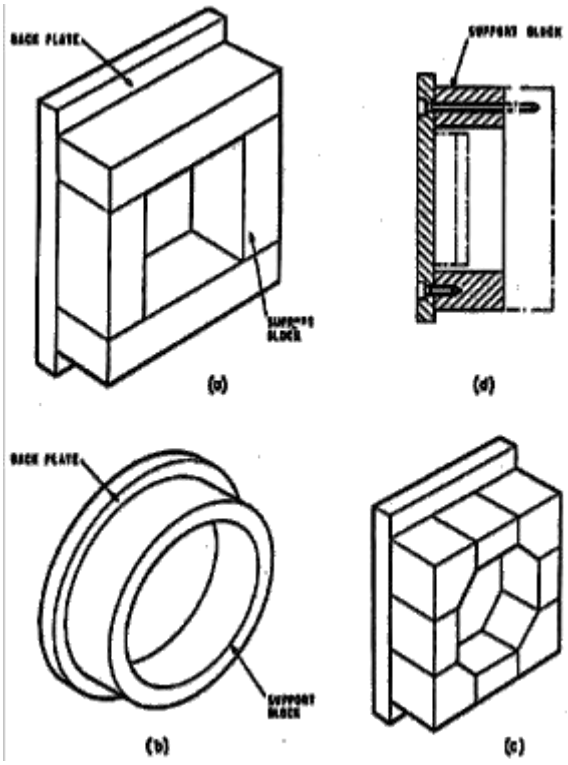


(a) : تغییر شکل صفحه قالب وقتی بلوکهای تکیه گاهی با یکدیگر فاصله زیادی داشته باشند.

(b) افزودن بلوکهای میانی از این خطر جلوگیری می کنند.

محفظه پران قابی شکل

رایج ترین طرحهایی که در طرح محفظه پران قابی شکل به کار گرفته می‌شود در زیر آمده است:



شکل: محفظه پران قابی شکل : (a-c) طرحهای مختلف (d) برش مقطع عمومی

شکل (a): استفاده از چهار بلوک فولادی که به صورت مناسب روی صفحه کفشک متحرک نصب می‌شوند. به دلایل زیر بسیاری از طراحان از این طرح استفاده می کنند.

۱-برای اینکه ساخت این روش ساده و کم هزینه تر است.

۲-در قالبهای کوچک این روش تکیه گاه خوبی برای صفحه قالب به وجود می آورد .

۳-در این روش امکان کاربرد مجموعه صفحه پران رایج به شکل چهار گوش وجود دارد .

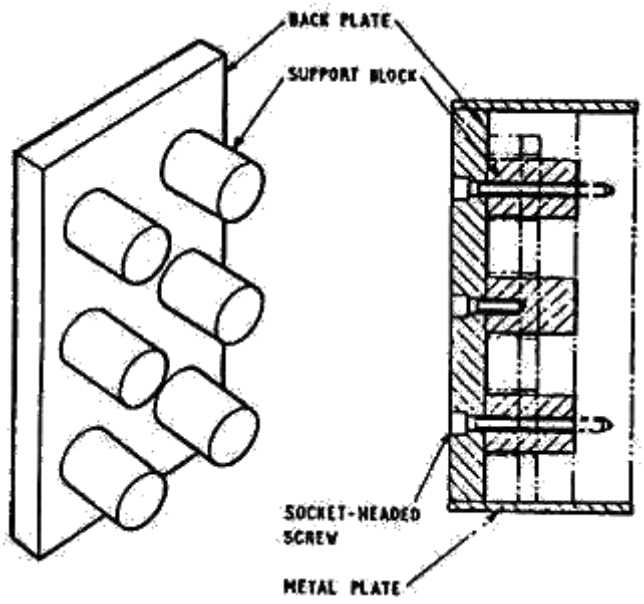
۴-اطراف مجموعه صفحه پران کاملا بسته شده و بنابراین از داخل شدن هر نوع جسم خارجی جلوگیری می‌کند.

شکل (b): زمانی که شکل خارجی صفحه قالب گرد باشد، معمولا شکل خارجی محفظه پران نیز گرد طراحی می‌شود. در این طرح یک تکیه گاه دایره ای شکل روی صفحه کفشک متحرک نصب شده است. این تکیه گاه گرد از ماشینکاری یک بلوک فولادی ساخته می‌شود و پر هزینه تر از روش قبل است.

شکل (c): سطح تکیه گاهی بیشتری را می توان با بعضی اصلاحات در مجموعه صفحه پران بدست آورد. برای مثال در مجموعه پران در صفحات چهار گوش گوشه ها پخ زده می‌شوند.

محفظه پران با تکیه گاههای گرد

در این طرح فقط از تکیه گاه گرد برای تکیه گاه صفحه قالب استفاده شده و از بلوکهای تکیه گاه خارجی چهارگوش سیستمهای قبلی صرف نظر شده است. زمانی که در قالبهای بزرگ احساس شود بلوکهای اضافی تکیه گاهی تاثیر چندانی ندارند از این سیستم استفاده می‌شود.

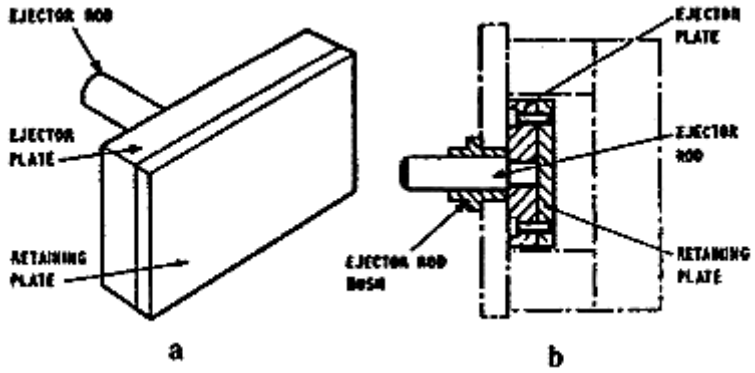


شکل: محفظه پران با تکیه گاههای گرد

این طرح ساده شامل تعدادی تکیه گاه گرد است و با یک ترکیب منطقی روی صفحه متحرک قالب نصب شده است. شبکه به صفحه قالب با پیچ بسته می‌شود. مجموعه صفحه پران (در شکل به صورت خط نقطه است) می تواند مانند طرحهای قبلی به راحتی حرکت کند (در محل تکیه گاه های گرد سوراخ هایی در صفحه پران برای عبور آنها تعبیه شده است).

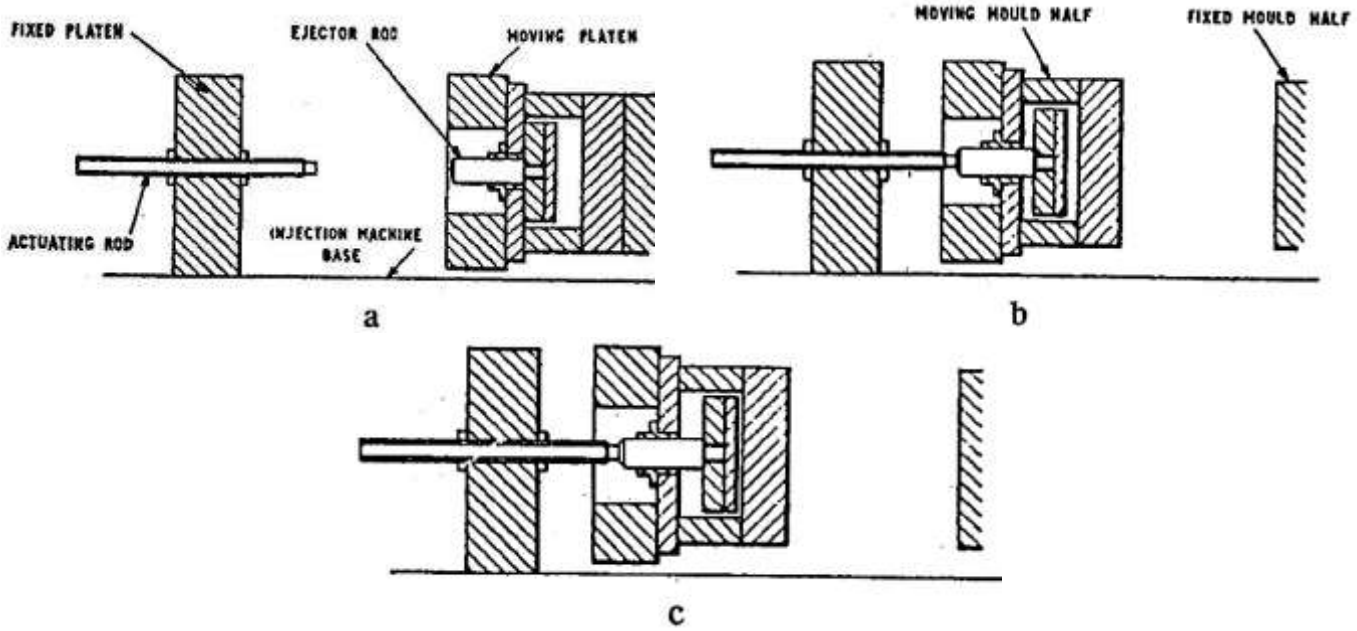
مجموعه صفحه پران

مجموعه صفحه پران به بخشی از قالب گفته می‌شود که اجزای پران به آن بسته می‌شوند. این مجموعه در پشت صفحه قالب در بین فضای محفظه پران قرار می‌گیرد. این مجموعه در شکل زیر نشان داده شده است و شامل صفحه پران، صفحه نگهدارنده پرانها و میله های بیرون انداز می‌باشد. یک سر میله بیرون انداز رزوه شده است و به صفحه پران بسته می‌شود.



شکل: مجموعه صفحه پران

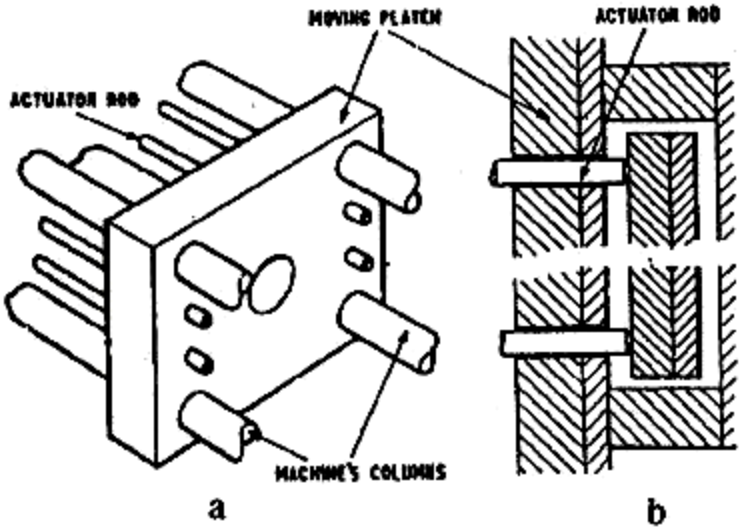
در این طرح میله بیرون انداز علاوه بر تحریک و حرکت دادن صفحه پران عمل هدایت مجموعه را نیز انجام می‌دهد. توجه داشته باشید در زمان حرکت، میله بیرون انداز از داخل یک بوش راهنما به صورت انطباقی عبور می‌کند. بوش در داخل صفحه کفشک متحرک قالب نصب شده است. چگونگی عملکرد مجموعه در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل: وقتی نیمه متحرک قالب به سمت چپ حرکت می‌کند مجموعه صفحه پران توسط میله بیرون انداز ماشین تحریک می‌شود

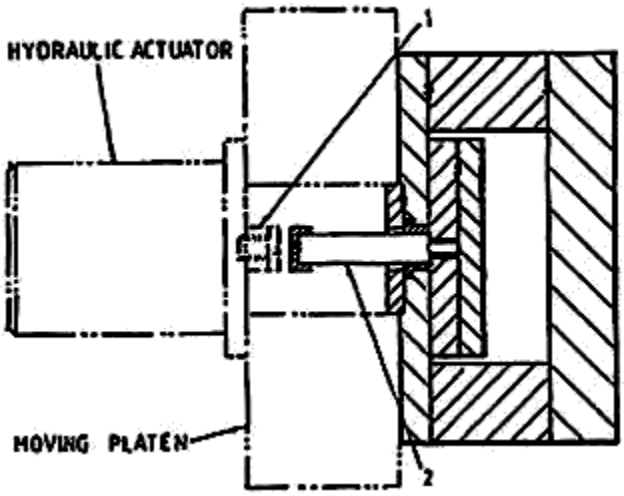
قالب روی صفحه متحرک ماشین تزریق نصب می‌شود. در سمت چپ صفحه متحرک ماشین میله بیرون انداز قرار دارد. این قطعه با توجه به کورس ماشین قابل تنظیم است. وقتی که صفحه متحرک به سمت چپ حرکت کرده و قالب باز شد، میله بیرون انداز قالب در نقطه مشخصی با میله بیرون انداز ماشین برخورد می‌کند. در قسمت b آغاز این مرحله نشان داده شده است. بقیه نیمه متحرک قالب (شامل صفحه قالب و صفحه پران) حرکت را به سمت چپ ادامه می‌دهند تا کورس خود را کامل کنند. حرکت نسبی بین محفظه پران و مجموعه صفحه پران برای عمل اجزای پران ضروری است. در شکلهای نشان داده شده میله بیرون انداز ماشین از داخل صفحه متحرک ماشین تزریق عبور کرده‌است. این نوع بیرون اندازها مخصوص ماشینهای تزریق کوچک است.

در ماشینهای تزریق بزرگ از تعداد بیشتری میله بیرون انداز استفاده می‌شود تا نیروی یکنواختی به صفحه پران اعمال شود. چنین سیستمی در شکل زیر نشان داده شده است. در قسمت (a) یک نما از صفحه متحرک ماشین بدون قالب نمایش داده شده است. در این طرح از چهار بیرون انداز استفاده شده که با لقی مناسب از صفحه متحرک ماشین عبور کرده‌اند.



شکل: تحریک مستقیم مجموعه صفحه پران توسط میله های بیرون انداز ماشین

روش کار در شکلهای نشان داده شده یکسان است، به جز اینکه در این حالت چهار میله بیرون انداز مستقیما به پشت صفحه پران نیرو اعمال می کنند. بسیاری از سازندگان ماشینهای تزریق برای ساده کردن سیستم پران، علاوه بر میله بیرون انداز ثابت از یک عمل کننده هیدرولیکی نیز استفاده می کنند. در این حالت می توان سیستم پران را در هر موقعیتی (در رفت یا برگشت) از سیکل تزریق تحریک کرد. عمل کننده هیدرولیکی همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است به صورت مرکزی نصب می‌شود. زمانی که قالب نیاز به پران دارد بازوی هیدرولیکی (۱) توسط مدار هیدرولیک ماشینی تحریک شده و در نتیجه بازوی عمل کننده به سمت جلو حرکت می‌کند تا به میله بیرون انداز قالب (۲) برخورد نماید:



شکل: تحریک مجموعه پران توسط عمل کننده هیدرولیکی ماشین

صفحه پران

هدف اصلی از کاربرد این قطعه انتقال نیرو از سیستم متحرک به قطعه تزریق شده از طریق پران ها است. نیروی لازم برای پران قطعه تزریقی قابل توجه است به خصوص در قالبهایی که دارای عمق زیاد بوده و شیب کمی باید در نظر گرفت. ضخامت

صفحه پران باید به حدی باشد تا تحمل هر گونه نیروی اضافی را داشته باشد، زیرا تغییر شکل در ابتدای مرحله پران به نهایت می رسد و این به دلیل چسبیدن قطعه تزریقی به ماهیچه است.

مکانیزم برگشت مجموعه صفحه پران

در این قسمت مکانیزم برگشت صفحه پران را به موقعیت اولیه خود جهت آماده شدن برای سیکل بعدی بررسی می کنیم.

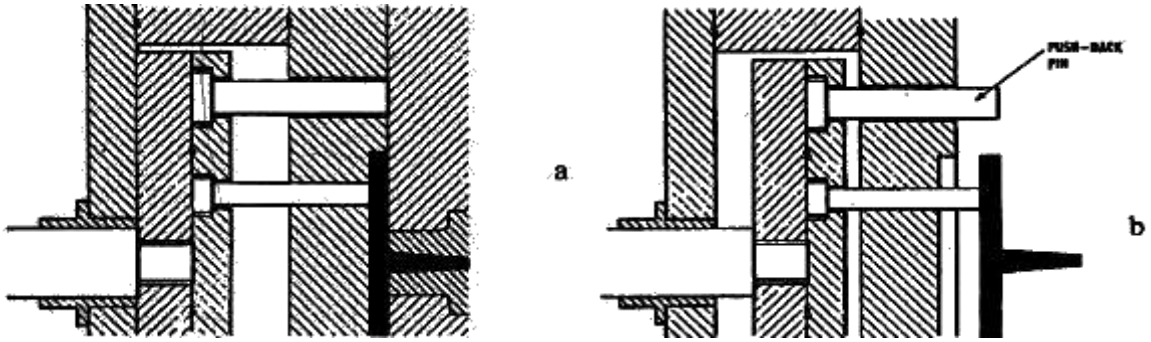
عموما از دو سیستم برای برگشت مجموعه پران استفاده می‌شود:

۱-سیستم برگشت با پین برگردان

۲-سیستم برگشت با فنر

مکانیزم برگشت با پین برگردان

پین های برگردان، اساساً همان پینهای پران با قطر بزرگتر می‌باشند که در چهار گوش صفحه نگهدارنده پران نصب می‌شوند (شکل زیر) . در زمان بسته شدن قالب پین های برگردان به نیمه ثابت قالب برخورد کرده و تدریجا برمی‌گردند تا مجموعه پران را به موقعیت اولیه خود باز گردانند :



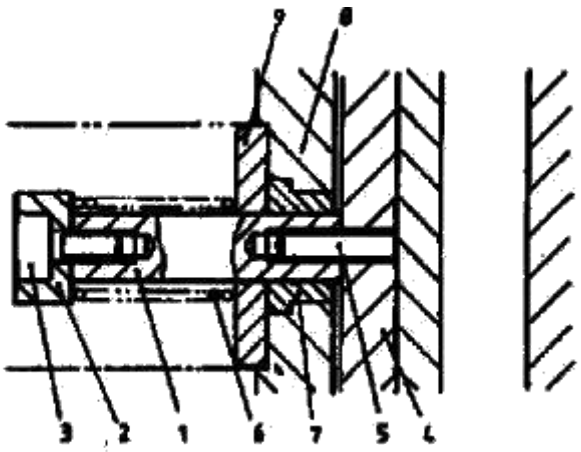
شکل: سیستم پین برگردان صفحه پران

(a) پین برگردان با سطح قالب هم سطح است.

(b) در مرحله پران پین برگردان از سطح قالب بیرون زده است.

مکانیزم برگشت با فنر

برای قالب های کوچک که مجموعه صفحه پران سبک است از یک فنر و یا مجموعه ای از فنرهای بشقابی برای برگردان مجموعه صفحه پران استفاده می‌شود (مطابق شکل زیر).



شکل: مجموعهٔ استاندارد میلهٔ بیرون انداز و بوش میلهٔ بیرون انداز

انواع روشهای پران

زمانی که قطعه تزریقی سرد می‌شود قطعه منقبض شده و مقدار این انقباض بستگی به نوع مـواد دارد. طـراح چنـدین روش پران را می تواند انتخاب نماید. انواع روشهای پایه پران عبارتند از:

۱-پین پران

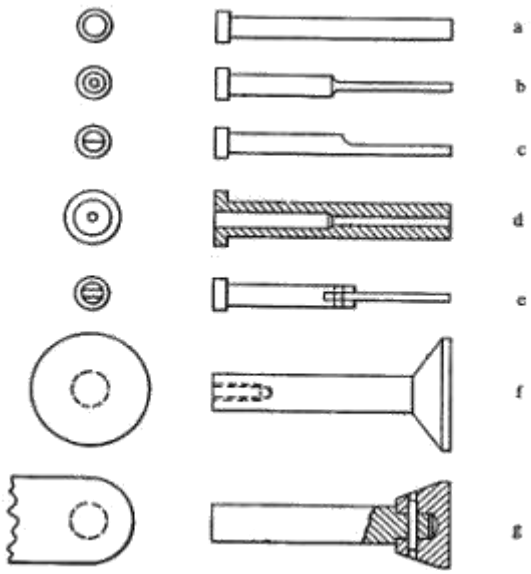
۲-بوش پران

۳-پران تسمه ای

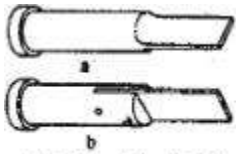
۴-پران تیغه ای

پین پران:

این نوع پران رایج ترین سیستم نوع پران در قالبهای تزریق است و به طور کلی ساده ترین روش پران در قالبها نیز این روش است. در این سیستم قطعه تزریقی با تعدادی پین پران از قالب خارج می‌شود (a).

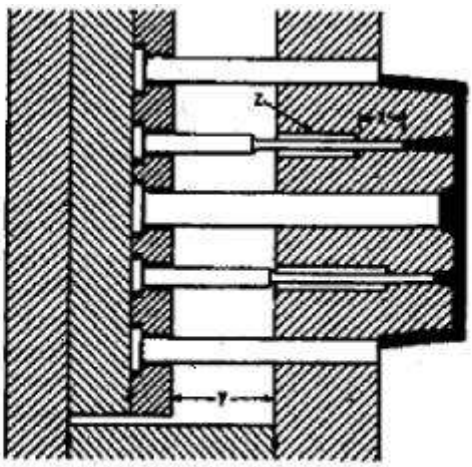


شکل: اجزای پران: a) پین پران b) پین پران پله دار c) پینD شکل d) بوش پران e) پران تیغه ای f) پران والوی g) پران تسمه ای

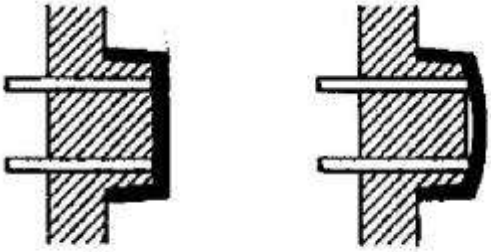


شکل: طرحهای پران تیغه‌ای

برای نصب راحت پرانها در مجموعه صفحه پران سر پین ها به شکل استوانه ای است. پین پران باید بـا یـک انطبـاق لغزشـی مناسب در داخل سوراخ مربوطه روی صفحه قالب نصب شود. اگر این انطباق مناسب رعایت نشود، مواد پلاستیکی از بین لقی پران و سوراخ عبور کرده و به پشت صفحه قالب جریان می یابند. قسمتهای انتهای پین پران در محـل مربوطـه روی صـفحه نگهدارنده نصب می‌شود.



شکل: دراین قطعه تزریقی نیاز به پین‌پران پله‌دار، پین پران در سطح جدایش و پین پران در سطح قطعه است.



شکل: عموماً استفاده از پین پران در سطح قطعه برای پران قطعات جعبه‌ای شکل مطلوب نیست.

بوش پران :

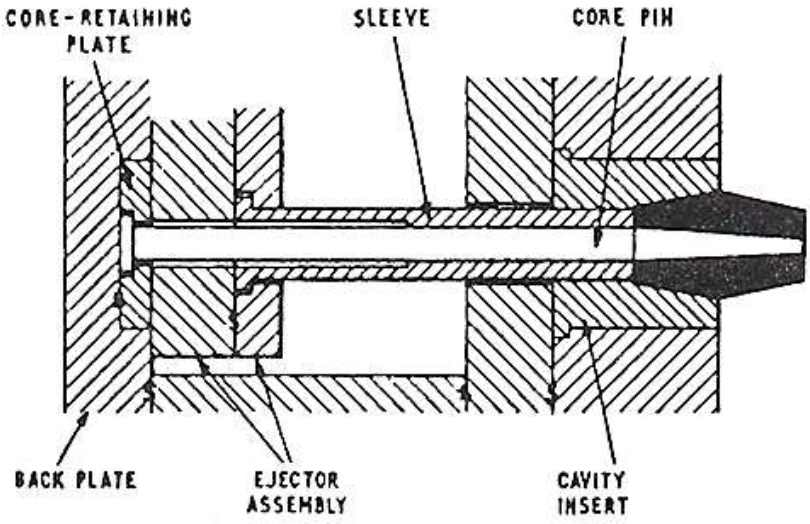
در این روش قطعه تزریقی توسط یک پران سوراخ دار پران می‌شود که به آن بوش پران می‌گویند (شکل زیر). با توجه به موقعیت، این پرانها در سه حالت به کار برده می‌شوند:

۱-برای پران کردن بعضی از قطعات تزریق گرد

۲-برای پران کردن هرگونه بیرون زدگی موضعی دایره ای شکل بر روی قطعه

۳-برای اینکه بتوان در اطراف یک ماهیچه گرد از یک پران استفاده نمود.

بوش پران، در صفحه نگهدارنده پرانها بسته می‌شود و به صورت انطباقی در داخل اینسرت حفره قالب حرکت می‌کند.



شکل: بوش پران

خنک کاری قالب

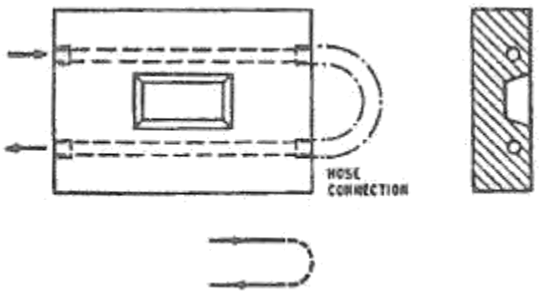
اصل اساسی در قالب گیری تزریقی این است که، مواد داغ وارد محفظه شده و در آنجا به سرعت سرد مـی شـوند. در نتیجـه مواد منجمد شده و به شکل محفظه در می آیند و به آن شکل نیز باقی می مانند. بنابراین دمای قالب مهم است و بخشـی از زمان کل سیکل تزریق را کنترل می کند. اگر مذاب پلاستیک وارد یک قالب داغ شود، زمان انجماد بیشتری نیاز دارد تا قطعه تزریقی منجمد شده را بتوان از قالب پران نمود. در مقابل اگر مذاب پلاستیک وارد یک قالب سرد شود مذاب قبل از پرکـردن کامل محفظه منجمد می شود. برای به دست آوردن یک سیکل تزریق مناسب در قالب بین این دو وضعیت باید حالت بهینـه ایجاد کرد. دمای کاری قالب به عوامل زیر بستگی دارد :

نوع و درجه موادی که تزریق می شود طول مسیر مواد در محفظه قالب، ضخامت دیواره قطعه،طول سیستم تغذیه و غیره .

اغلب درجه حرارت قالب کمی بیشتر از درجه مورد نیاز تنظیم می شود تا قالب بهتر پر شود. برای اینکه اختلاف دمای مورد نیاز بین قالب و مواد پلاستیک ایجاد شده و ثابت بماند، آب (یا سیال دیگری) در درون سوراخها و یا کانالهای قالب چرخانـده می شود. این سوراخها یا کانالها را مسیر جریان یا مسیر آب گویند. کل مجموعه را مدار خنک کاری قالب می نامند. در طـی پر شدن محفظه، داغ ترین مواد در نقاط نزدیک دهانه ورودی و سرد ترین مواد در دورترین نقطه از ورودی قـرار دارد. دمـای سیال خنک کاری هنگام عبور از قالب افزایش می یابد. بنابراین برای داشتن میزان خنک کاری یکسان در کـل سـطح قالـب باید ورودی سیال سرد در مجاورت با نقاط داغ قالب باشد و کانالهای انتهای مدار خنک کاری را از مجاورت سطوح سرد قالب عبور داد.

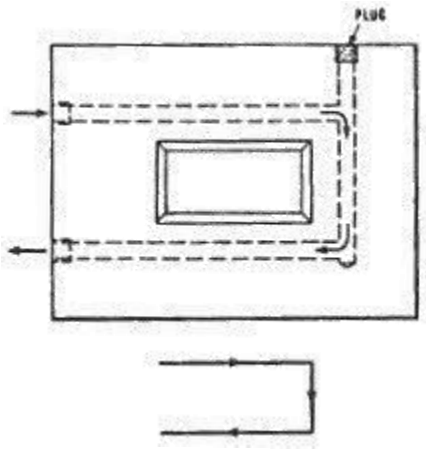
خنک کاری صفحات قالب نوع یکپارچه

دمای یک صفحه قالب نوع یکپارچه با چرخش آب از داخل سوراخهایی که در صـفحه قالـب ایجـاد شـده کنتـرل مـی شـود. سوراخها معمولا به یکدیگر متصل می شوند تا یک مدار را به وجود آورند. مدار ممکن است در یک سطح یا چند سطح باشـد. تعداد سطوح بستگی به ضخامت صفحه قالب دارد. در مثال شکل زیر، در یک صفحه قالب یک حفره کوچک و کم عمق ایجاد شده است. ساده ترین روشی که می توان به کار برد سوراخ کاری دو مسیر آب از یک طرف صفحه قالب است. ایـن سـوراخها در طرف دیگر توسط یک شیلنگ انعطاف پذیر به یکدیگر متصل می شوند.



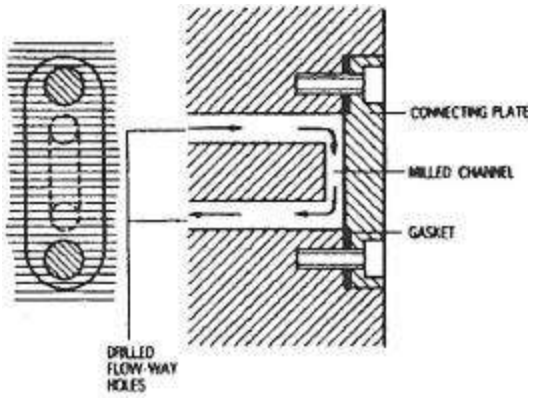
شکل: خنک کاری صفحه حفره یکپارچه ، مدار ساده

برای حذف کردن هر نوع اتصالات خارجی می توان دو مسیر جریان را با سوراخ کاری مطابق شکل زیر از داخـل بـه یکـدیگر ارتباط داد. این مدار "U" شکل یک مدار مفید برای خنک کاری محفظه های نازک و طویل است.



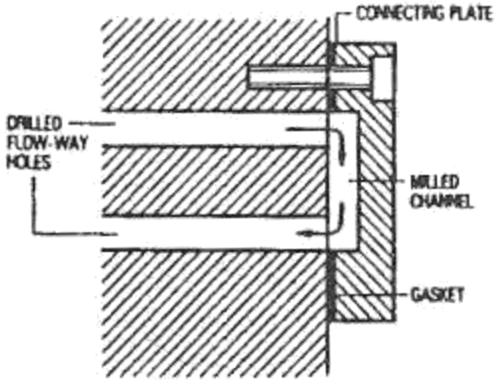
شکل: خنک کاری صفحه حفره یکپارچه ، مدار U

به جای استفاده از سوراخکاری عرضی برای اتصال دو مسیر به یکدیگر از یک شیار فرزکاری شده و یک صفحه رابط نیز می توان استفاده کرد. برای این منظور دو طرح پایه وجود دارد. شکل زیر دو مسیر آب را نشان می دهد که با یک شیار فرزکاری شده به یکدیگر متصل شده است. این کانال بر روی دیواره صفحه قالب ایجاد شده است. صفحه رابط به دیواره صفحه قالب مانند شکل با پیچ بسته شده است که برای آب بندی از یک واشر استفاده می شود.



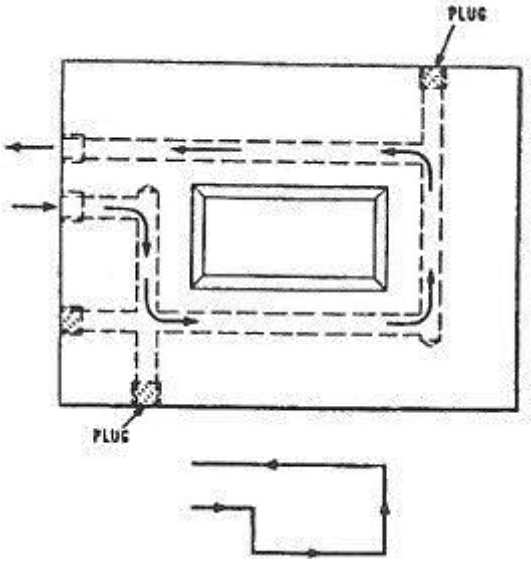
شکل: مدار U شکل توسط یک شیار فرزکاری شده مسیرها به هم وصل می شود. (طرح I)

در شکل زیر طرح دیگری نشان داده شده است. این طرح مشابه طرح قبلی است به جز اینکه کانال اتصال در این حالت در صفحه رابط ماشینکاری شده است. در این طرح نیز این صفحه مستقیما به دیواره قالب پیچ می شود. این طرح نسبت به دو روش قبلی کم هزینه تر است. این روش معایبی دارد از جمله اینکه ممکن است صفحه رابط در طی عملیات تنظیم قالب ضربه خورده و از آب بندی بیافتد.



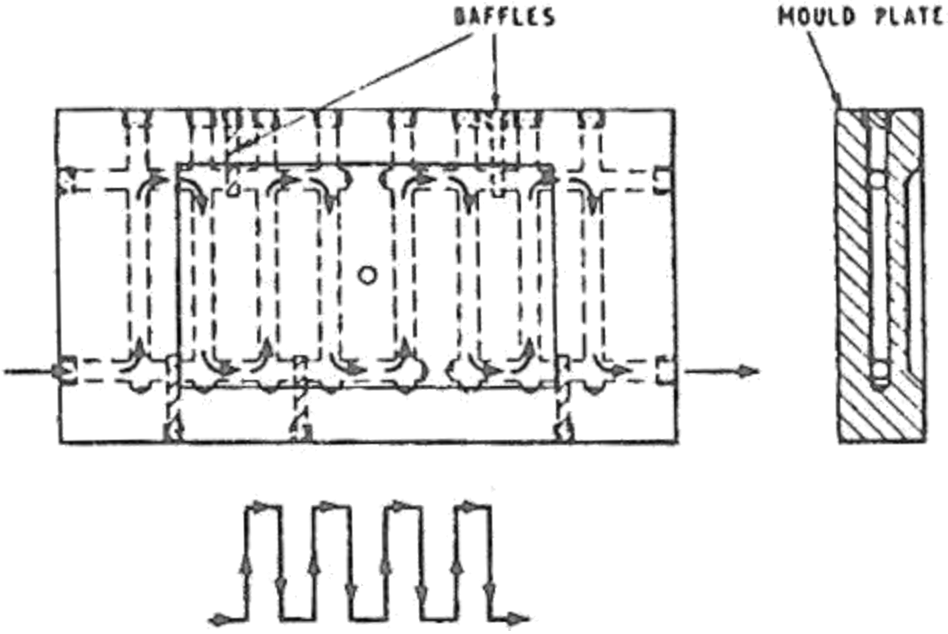
شکل: مدار U شکل توسط یک شیار فرزکاری شده مسیرها به هم وصل می شود (II)

مدار مربعی در شکل زیر نیاز به سوراخ کاری بیشتری دارد. در این طرح از کنار هر چهار دیواره حفره مسیر آب مـی گـذرد و کنترل درجه حرارت یکنواخت تری می توان داشت.



شکل: خنک کاری صفحه حفره اینتگری ، مدار چهار ضلعی

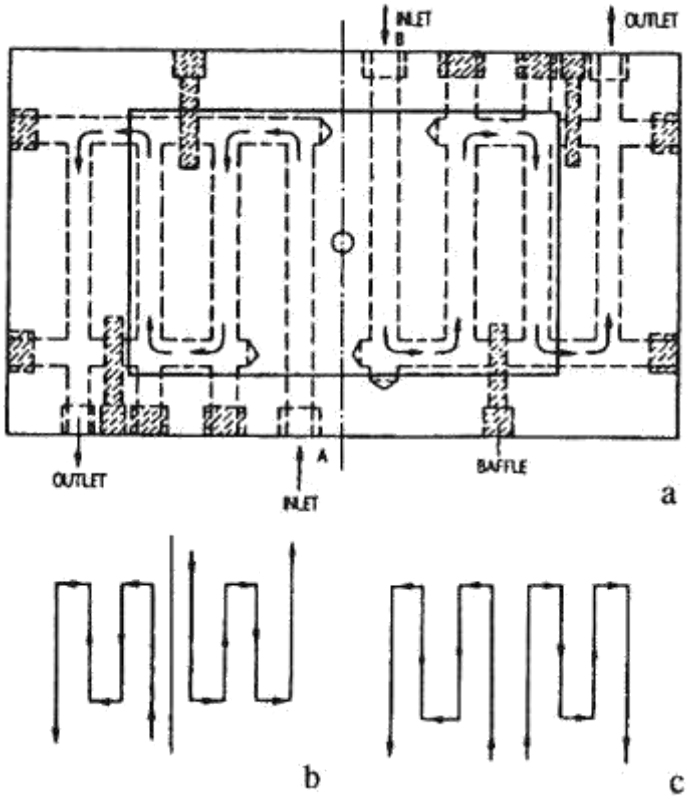
برای حفره های کم عمق و با سطح زیاد مدار بالا مناسب نیست. در این مورد از یک مدار مستقیماً در زیر حفره استفاده مـی شود. صفحه قالب سوراخ کاری شده و در این سوراخها میله ها و درپوشهای مورد نیاز نصب می شود (شکل زیر). این مدار به صورت یک جریان Z شکل است که در آن سیال خنک کاری می چرخد.



شکل: خنک کاری صفحه حفره یکپارچه، مدارZ شکل

همان گونه که قبلا نیز بیان شد درجه حرارت سیال خنک کاری در هنگام عبور از قالب پیوسته افـزایش مـی یابـد. بنـابراین میزان خنک کاری در سمت چپ قالب بیشتر از سمت راست است، این بدان معنی است که درجه حرارت در سطح حفـره بـا این نوع مسیر جریانها متغیر خواهد بود و ممکن است ایجاد مشکلاتی نماید. بنابراین از مدار اصلاح شده شکل زیر که اساسـا مشابه مدار قبلی است، استفاده می شود. این مدار را مدارZشکل متعادل می گویند. توجه داشته باشید که سوراخکاری سمت

چپ صفحه قالب متضاد با سوراخ کاری سمت راست است. ورودی سیال خنک کننده از A وB می باشد. هر دو سوراخ ورودی از نزدیکی خط مرکزی قالب می گذرد و نزدیک به اسپرو است.



شکل: (a) مدارZ شکل متعادل (b) مدار شماتیک

(c) یک مدار Z شکل متعادل دیگر

طرح تصحیح یافته دیگری در شکل فوق(C) به صورت شماتیک نشان داده شده است. در این طرح برای اینکه کار با قالب راحت تر شود ورودی و خروجی هر دو مدار در یک سمت قالب است.

خنک کاری مجموعه های اینسرت – نگهدارنده

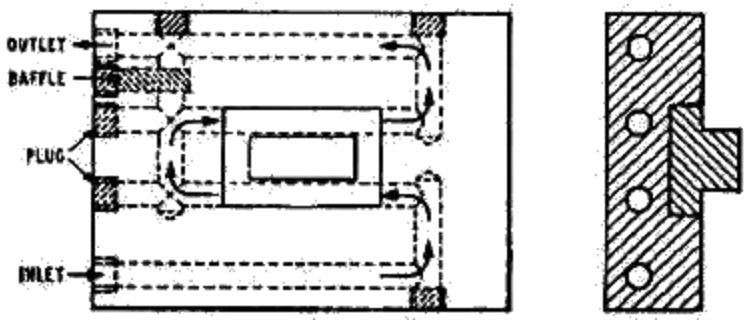
بحث خنک کاری مجموعه اینسرت – نگهدارنده شامل دو قسمت است :

۱-خنک کاری نگهدارنده

۲-خنک کاری اینسرت

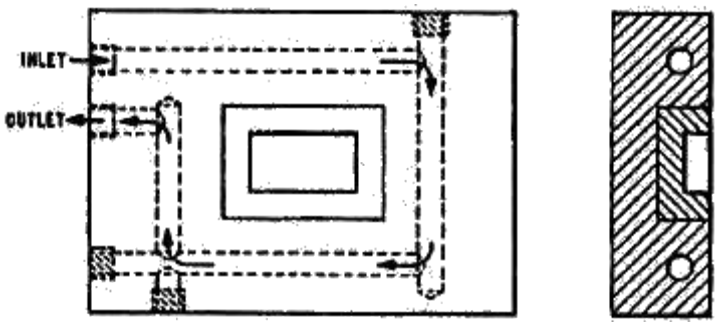
خنک کاری نگهدارنده

در قالب هایی که با روش اینسرت – نگهدارنده ساخته می شوند، زمانی که عمق محفظه کم باشد چرخش ماده خنک کننده محدود به صفحه نگهدارنده می شود. روشهای خنک کاری صفحه نگهدارنده قالب مشابه روشهای خنک کاری برای صفحات یکپارچه حفره است. در این روش مسیرهای آب در داخل یا خارج قالب به یکدیگر وصل شده و باعث چرخش مایع خنک کننده می گردند. در عمل بهتر است حتی الامکان مسیرها در نزدیکی اینسرت باشند. برای اینسرتهایی با ضخامت کم بهتر است مسیرهای خنک کاری مستقیما زیر اینسرت ایجاد شوند (شکل زیر).



شکل:خنک کاری نگهدارنده، مدار Z شکل

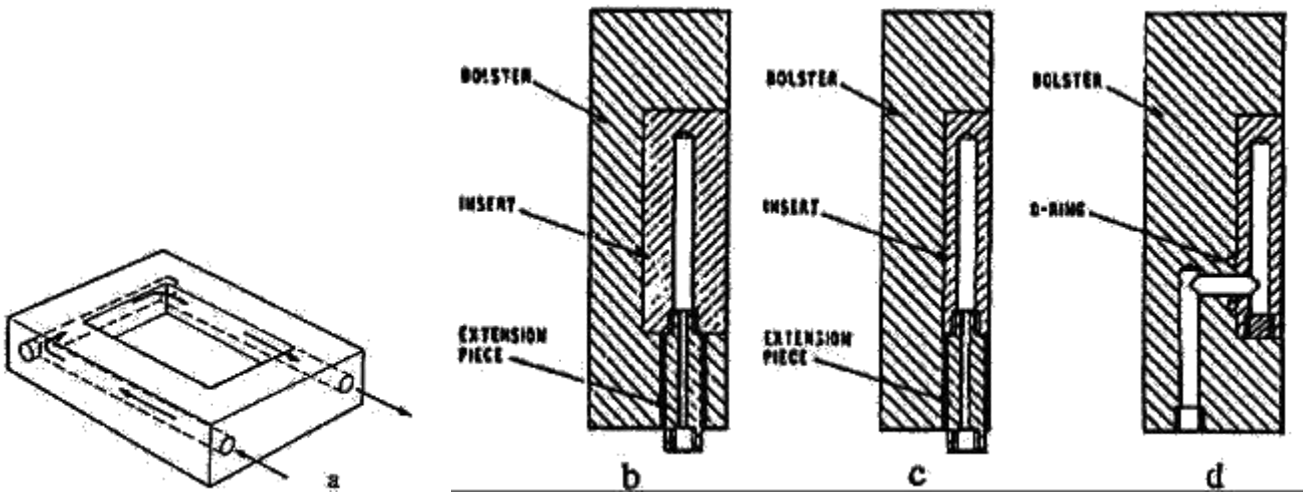
معمولا از طرح نوع "Z" شکل استفاده می شود عبور مسیرهای خنک کاری از کنار اینسرت روش دیگری است(شکل زیر).



شکل: خنک کاری نگهدارنده، مدار چهار ضلعی

خنک کاری اینسرت های حفره

روش های خنک کاری اینسرتهای حفره بسیار محدود است و به شکل اینسرت بستگی دارد. گردش سیال در داخل اینسرت به راحتی امکان پذیر است اما آب بندی بین اینسرت و صفحه نگهدارنده مساله را کمی پیچیده می کند و باید برای جلوگیری از نشتی از آب بندها استفاده نمود. در شکل زیر یک طرح نمونه نشان داده شده است. اگرچه در شکل فقط یک مدار ساده نشان داده شده است، ولی از مدارهای تکی پیچیده تر و از مدارهای چند سطحی نیز می توان استفاده نمود. این انتخاب بستگی به عمق و شکل حفره دارد. تمامی سوراخ های داخلی مسیر خنک کاری باید باید به یکدیگر وصل شده و به صورت مناسب در پوش بندی و تیغه گذاری شوند تا نیاز به کمترین اتصالات خارجی داشته باشیم. عمده ترین هدف طراح این است که در یک اینسرت حتی الامکان یک ورودی و خروجی وجود داشته باشد.

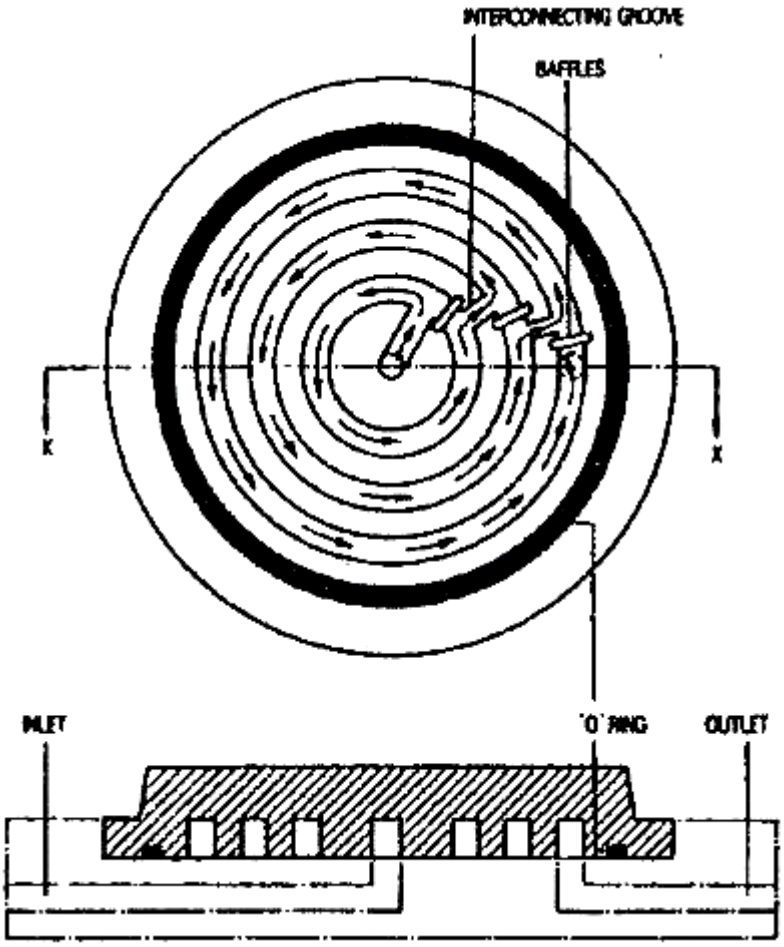


شکل: خنک کاری اینسرت

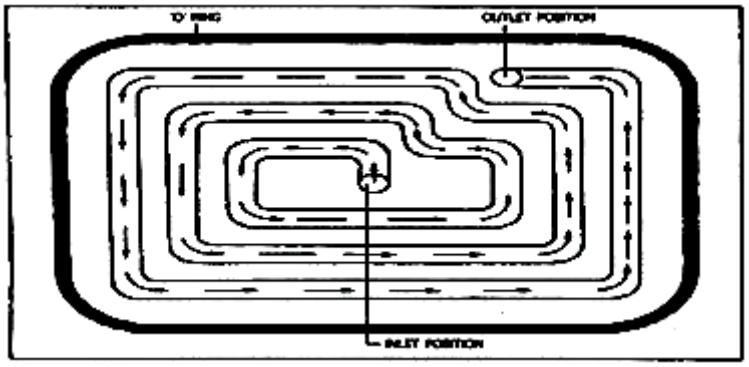
(a) مدار U - شکل (b تا d) روشهای دیگر اتصال مدار خنک کاری به منبع

خنک کاری اینسرت های ماهیچه

برای افزایش راندمان خنک کاری قالب هایی که از نوع اینسرت - نگهدارنده هستند، معمولا مسیر خنک کاری مستقیما در داخل سوراخها یا کانالهایی در بدنه اینسرت ایجاد می شود. طرحی که برای اینگونه اینسرتها استفاده می شود بستگی به اندازه و شکل اینسرت دارد. طرح خنک کاری ماهیچه یک جعبه کم عمق و بزرگ متفاوت از طرح خنک کاری یک ماهیچه بلند با قطر کوچک است. یکی از طرحهایی که برای خنک کاری اینسرت ماهیچه های کوتاه استفاده می شود، طرح مدار مارپیچ است. روش کار بدین صورت است که یک سری مسیرهای مارپیچ در پشت اینسرت ایجاد می شود. در عمل تولید مارپیچ مشکل و پرهزینه است. در شکل زیر مثالی برای خنک کاری اینسرتهای گرد بزرگ و در شکل بعدی مثالی برای خنک کاری اینسرتهای چهار گوش بزرگ نشان داده شده است.



شکل: خنک کاری اینسرتهای نازک، شیارهای دایره ای با فرز ایجاد می شود

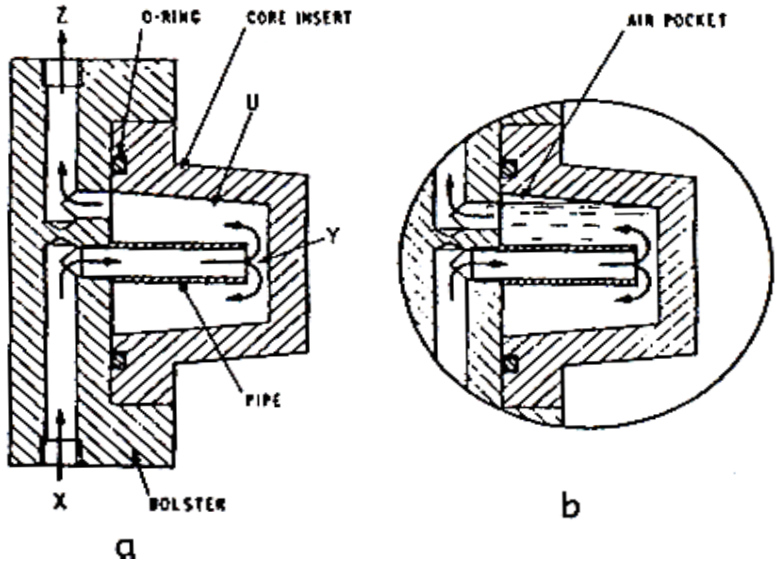


شکل: خنک کاری اینسرتهای نازک، شیارهای چهار ضلعی با فرز ایجاد می شوند.

طرح محفظه عمیق

در شکل زیر یک نمونه از این طرحها نشان داده شده است. در پشت اینسرت ماهیچه، یک محفظه خنک کاری عمیق (به شکل U) ایجاد می شود. برای سهولت در ماشین کاری، این محفظه معمولا گرد است. ماهیچه با پیچ به صفحه نگهدارنده بسته می شود. یک اورینگ که در شیار مربوطه قرار می گیرد از نشتی آب بین دو سطح جلوگیری می کند.

در عمل محفظه "U" پر از مایع خنک کاری می شود. سیال از دریچه ورودی (X) وارد شده و از طریق یک لوله به مرکز حفره (Y) - که در قالبهای تک محفظه ای گرمترین نقطه قالب بوده و مستقیما روبروی اسپرو می باشد - برخورد می کند و سپس از خروجی (Z) خارج می شود.



شکل: خنک کاری اینسرت ماهیچه

a) طرح محفظه عمیق b) محل خروجی سیال صحیح نیست.

نرم افزار MoldFlow

هدف از استفاده از نرم افزار، کاهش هزینه و وقت صرف شده برای آزمون و خطا جهت بررسی آثر پارامترهای مختلف (برای مثال تعیین محل تزریق ، مجرای خنک کاری و . . .) در کیفیت قطعه تولید شده است.

مجموعه نرم افزار MoldFlow
- طراحی قطعه و قالب
  - MoldFlow Plastic Adviser MPA
  - MoldFlow Plastic Insighat MPI
  - Plastics Tools
- کنترل و مانیتورینگ پرسه تزریق
  - MPX
  - Shot scope
  - Ez – Track

MPA ← مقایسه تقریبی میان دو طرح

MPI ← دقیق ترین و پیشرفته ترین آنالیز های موجود برای قالب ها

تنها قطعه تزریقی و پارامترهای موثر بر آن سرو کار دارد .

- Thermoplastics Injection Molding
- Co injection تزریق دو ماده ای
- Gas قطعات پلاستیکی تو خالی (گاز نیتروژن)
- Injection Compression تزریق به همراه پرس
- Mucell تولید قطعات پلاستیکی اسفنجی (با نیتروژن یا دی اکسید کربن)
- Reactive Molding قالب گیری ترموست ها
- Microchip Encapsulation پوشش دهی چیپ ها