



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مکانیک

تکنولوژی پلاستیک:

مقدمه، ترموپلاستیک ها

دکتر عبدالواحد کمی

نیمسال دوم ۹۷

فرآیندهای قالب‌گیری

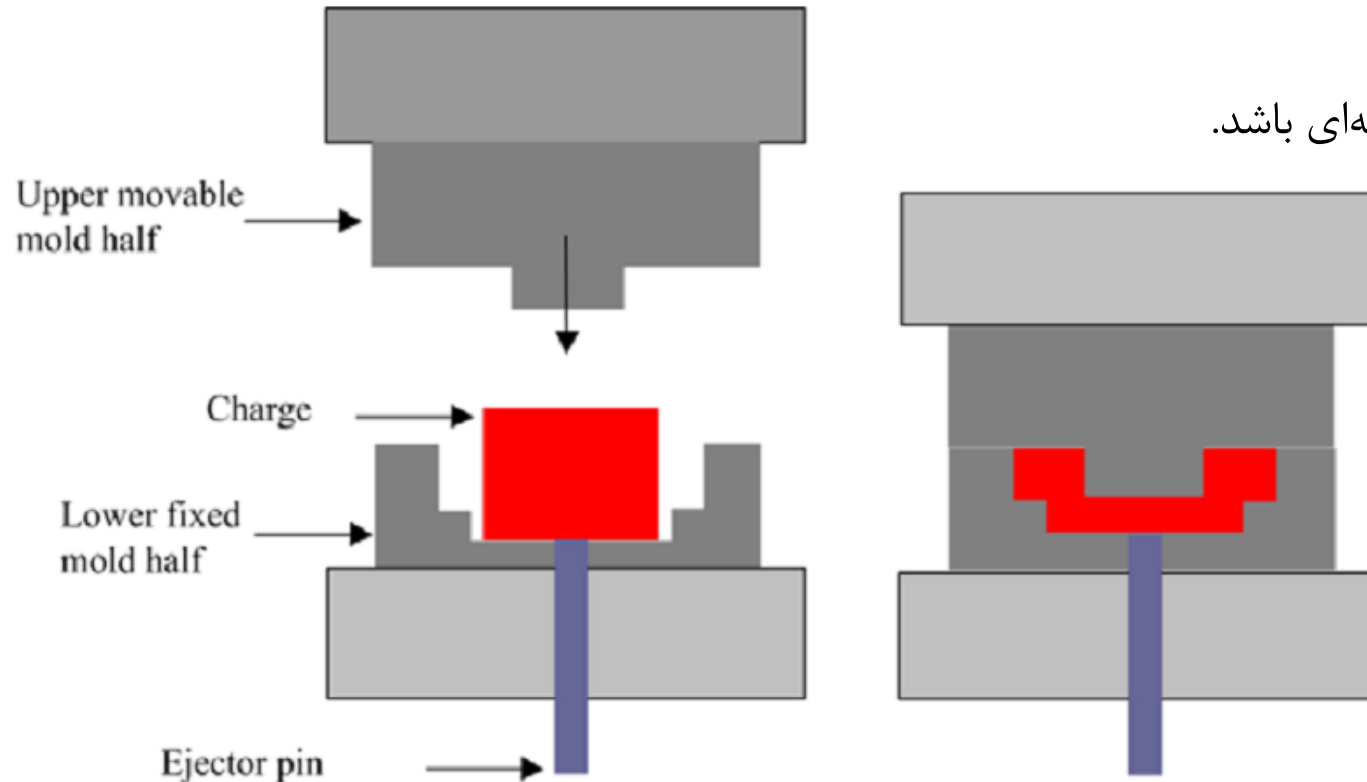
1. قالب‌گیری فشاری
2. قالب‌گیری انتقالی
3. قالب‌گیری تزریقی
4. قالب‌گیری تزریقی توأم
5. قالب‌گیری تزریقی چندگانه
6. قالب‌گیری تزریقی واکنشی
7. قالب‌گیری واکنشی تقویت شده
8. قالب‌گیری رزین مایع
9. قالب‌گیری انتقال رزین
10. قالب‌گیری تزریقی مکشی
11. قالب‌گیری انتقال رزین با انبساط حرارتی
12. قالب‌گیری سرد
13. همجوشی



قالب‌گیری فشاری (Compression Molding)

در این فرآیند ماده پلاستیکی درون حفره قالب قرار گرفته و با اعمال فشار و حرارت شکل می‌گیرد. قطعات تولیدی اغلب از جنس پلاستیک‌های گرماسخت می‌باشند. ولی پلاستیک‌های گرمانرم نیز گاهی فرایند می‌شوند.

ماده اولیه می‌تواند به صورت حجمی یا ورقه‌ای باشد.



قالب‌گیری فشاری



دستگاه پرس ۱۵۰۰ تن

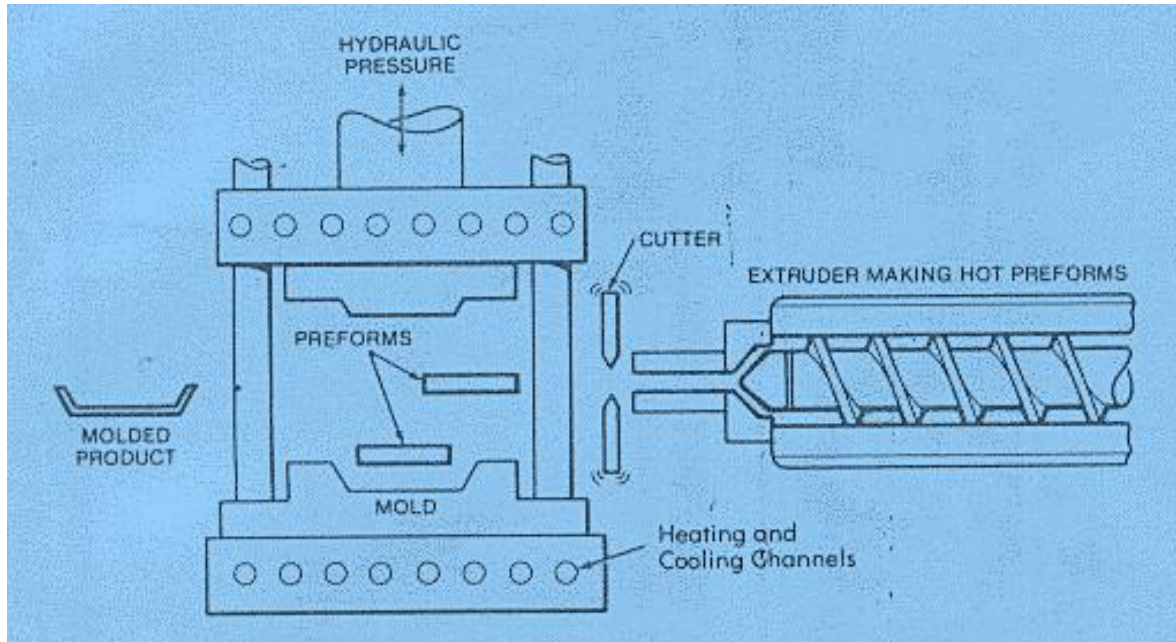


دستگاه پرس ۵۰۰ تن



قالب‌گیری فشاری

برای افزایش راندمان و کاهش زمان سیکل تولید می‌توان مواد پلاستیکی را توسط اکسترودر مارپیچی به داخل قالب تغذیه نمود.

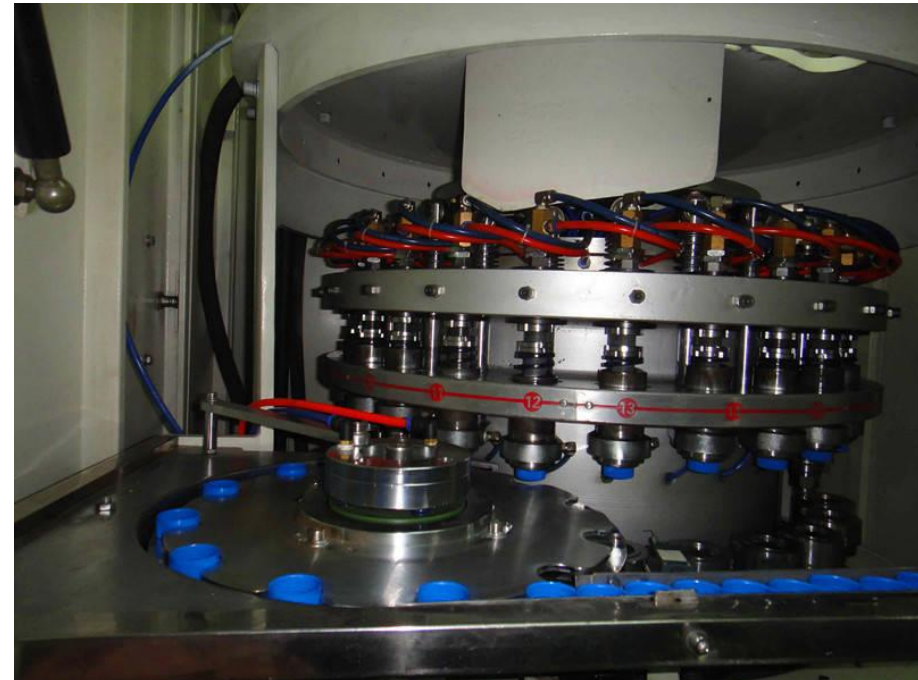


برای گرم کردن تجهیزات می‌توان از روغن داغ، الکتروسیته، بخار یا شعله استفاده نمود. به دلیل واکنش‌های شیمیایی در حین فرایند ممکن است انواع گاز، آب و یا فراورده‌های جانبی دیگر تولید شوند. برای جلوگیری از خرابی قطعات تولیدی این مواد اضافه باید از محفظه قالب خارج شوند.



قالب‌گیری فشاری

برای تولید درب بطری‌ها می‌توان از فرایند قالب‌گیری فشاری با دستگاه نمونه زیر استفاده نمود. تیراژ تولید در این روش بسیار بالا است (تا حدود ۴۰۰ هزار نمونه در روز).



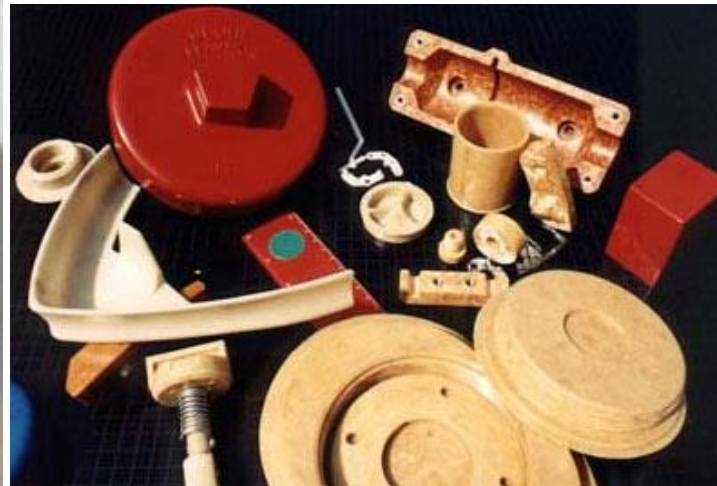
قالب‌گیری فشاری

- فرایند قالب‌گیری فشاری برای تولید قطعات طویل و با پیچیدگی متوسط قابل استفاده است.
- هزینه تجهیزات کم است (در مقایسه با قالب‌گیری تزریقی)
- ضایعات تولید کم می‌باشد.
- محصول دقیق و کامل می‌باشد.
- قالب‌گیری قطعات پیچیده مشکل است.
- ضمایم و پین‌های ظریف به آسانی صدمه می‌بینند.
- محصولات معیوب مجدداً قابل استفاده نیستند.



قالب گیری فشاری

چند نمونه از محصولات فرایند قالب گیری فشاری: ظروف غذاخوری، دستگیره، بدنه لوازم خانگی، قطعات الکترونیکی.



قالب‌گیری انتقالی (Transfer Molding)

قالب‌گیری انتقالی مشابه با قالب‌گیری فشاری می‌باشد با این تفاوت که در روش انتقالی، مواد در محفظه‌ای خارج از حفره قالب بارگذاری می‌شوند.

- مواد اولیه حالت مایع دارند.

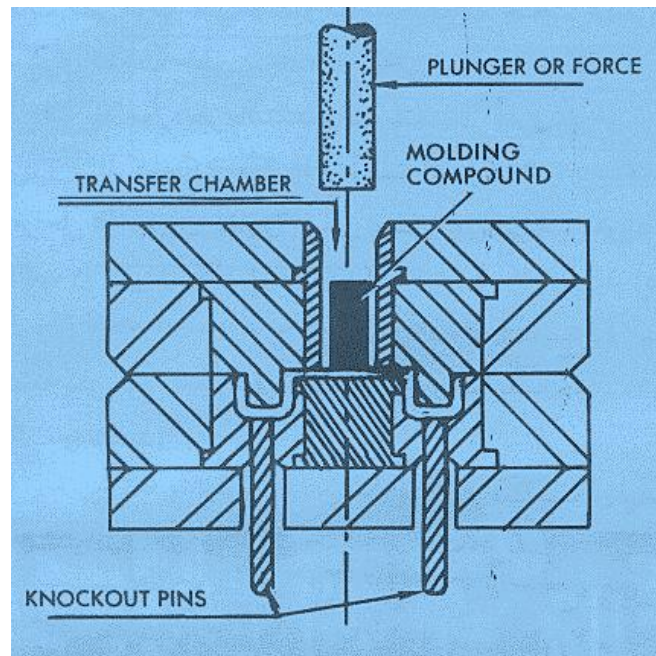
- قطعات شکستنی و پیچیده که دارای ضمایم و پین‌ها هستند را می‌توان به راحتی قالب‌گیری نمود.

+ انواع قالب‌های انتقالی:

۱- پیستونی (قالب دو صفحه‌ای)

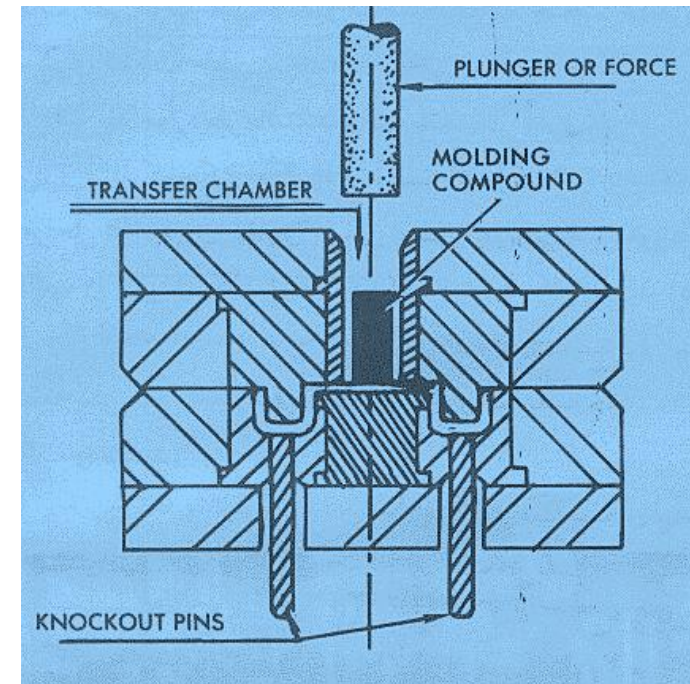
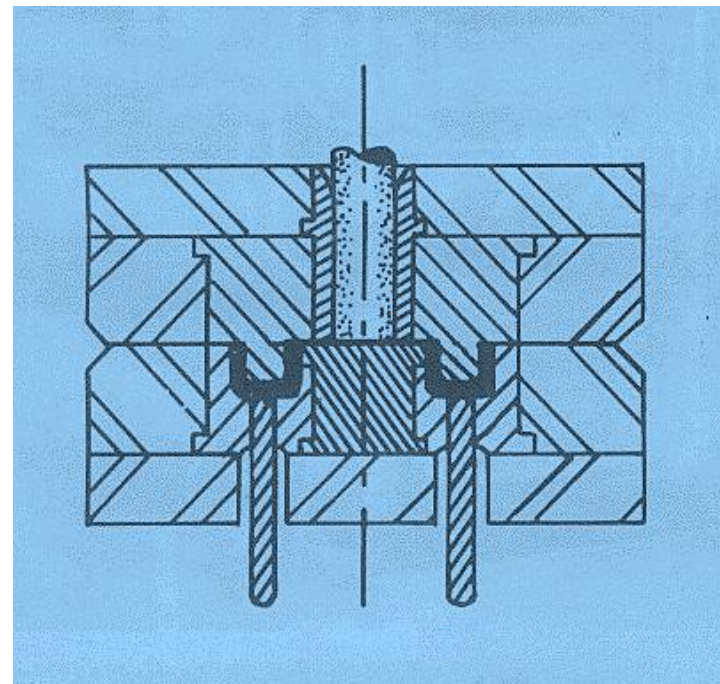
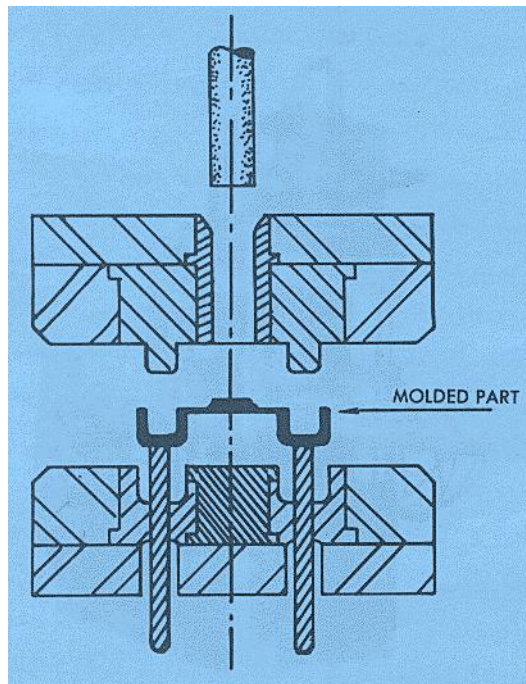
۲- با راه تغذیه (قالب سه صفحه‌ای)

۳- تزریقی (با سیستم ماریج)



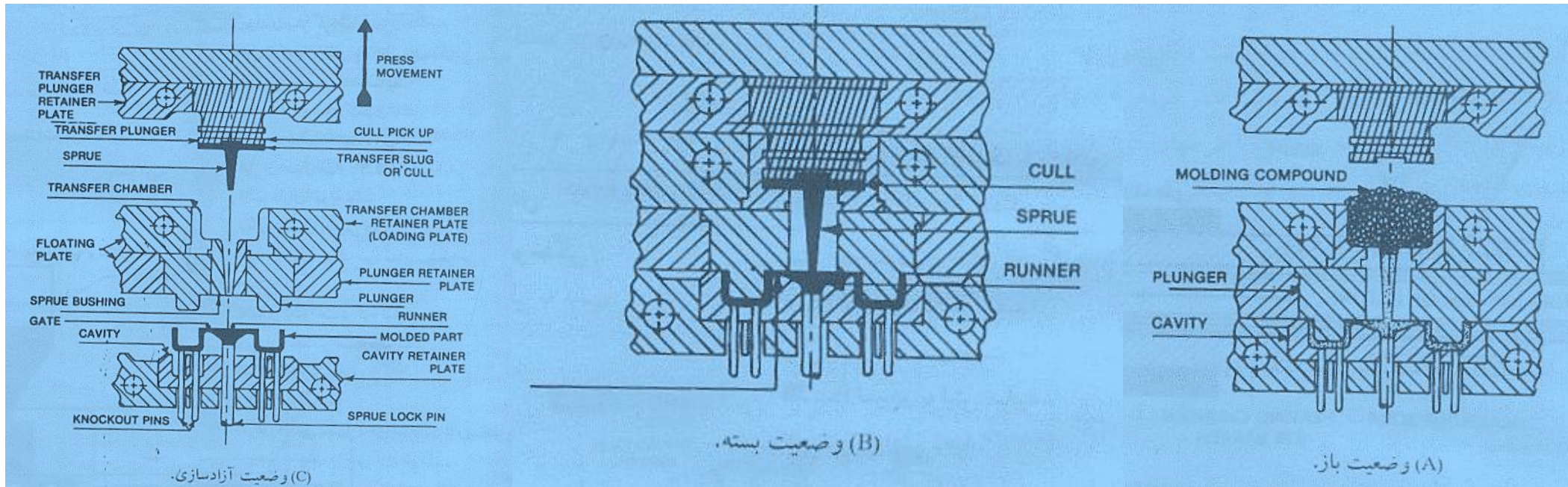
قالب‌گیری انتقالی

قالب‌گیری انتقالی پیستونی (قالب دو صفحه‌ای)



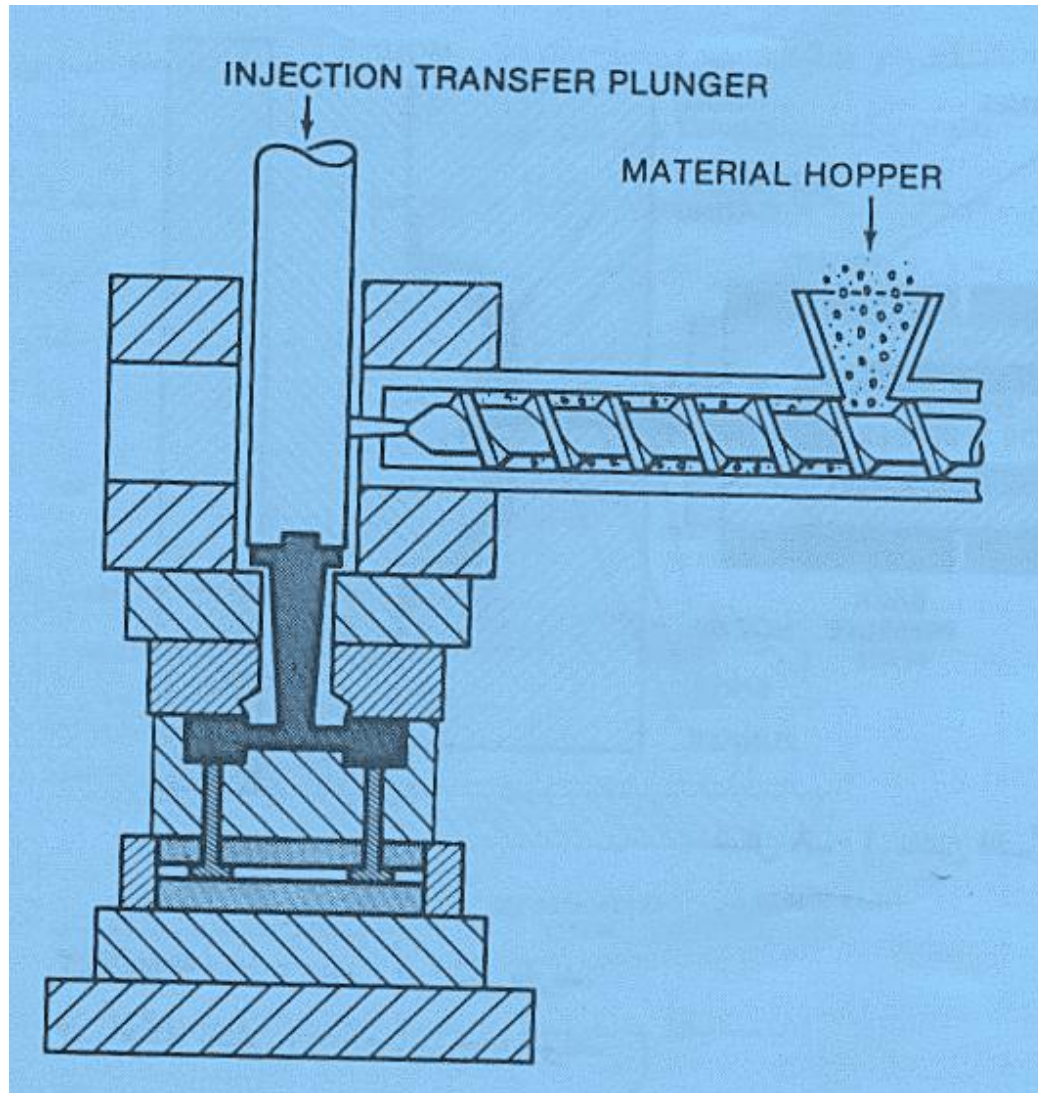
قالب‌گیری انتقالی

قالب‌گیری انتقالی با راه تغذیه (قالب سه صفحه‌ای)



قالب گیری انتقالی

قالب گیری انتقالی تزریقی

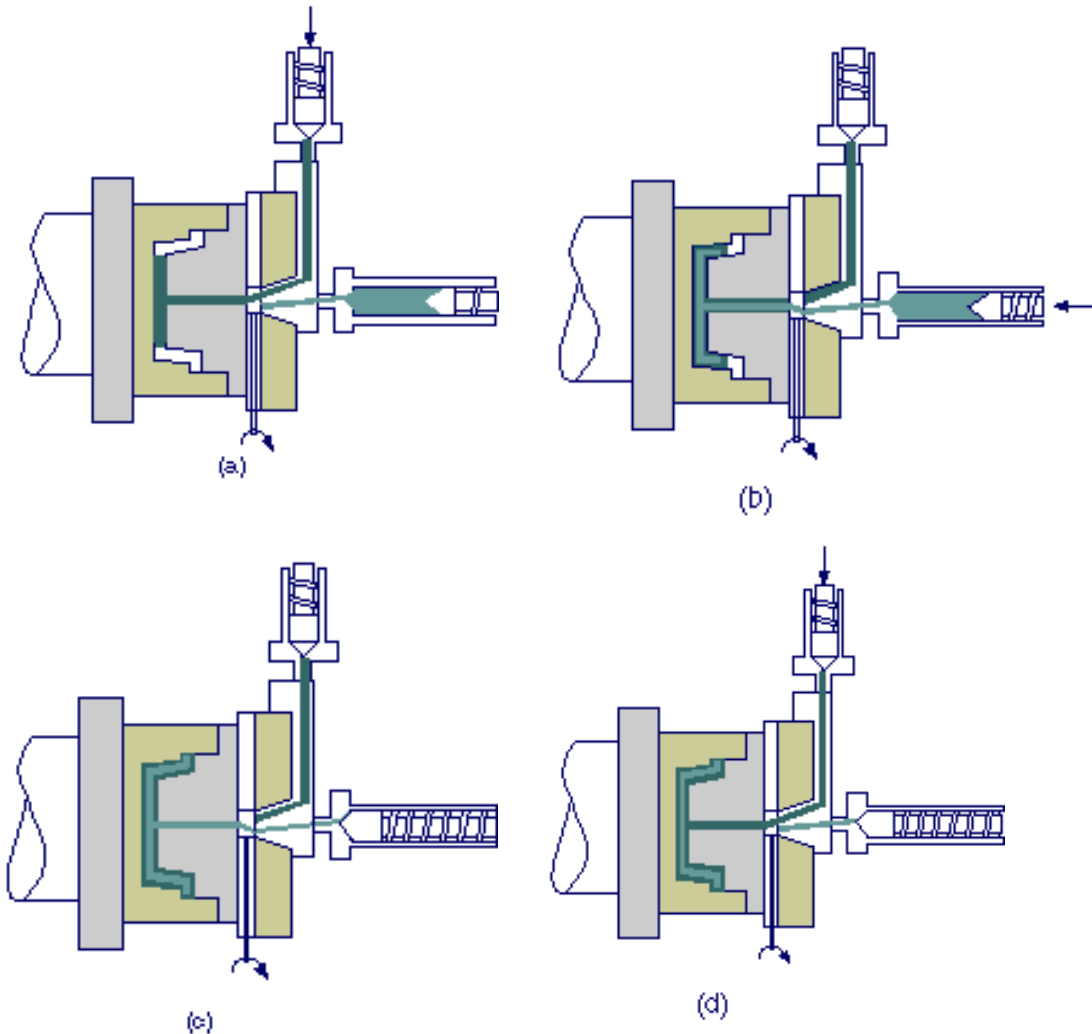


قالب‌گیری انتقالی

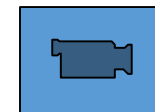
- خوردگی و سائیدگی قالب کمتر است.
- قطعات پیچیده و ضمایم را می‌توان قالب‌گیری نمود.
- پلیسه کمتری نسبت به روش فشاری دارد.
- توزیع دانسیته نسبت به قالب‌گیری فشاری یکنواخت‌تر است.
- امکان قالب‌گیری قطعات چند تکه وجود دارد.
- زمان بارگذاری و قالب‌گیری کمتر نسبت به قالب‌گیری فشاری.
- تولید ضایعات بیشتر به دلیل وجود سیستم راهگاهی.
- تجهیزات و قالب گران‌تر می‌باشند.
- باید گلویی و راهگاه از قطعه جدا شوند.



قالب‌گیری تزریقی توأم (Co-injection Molding)

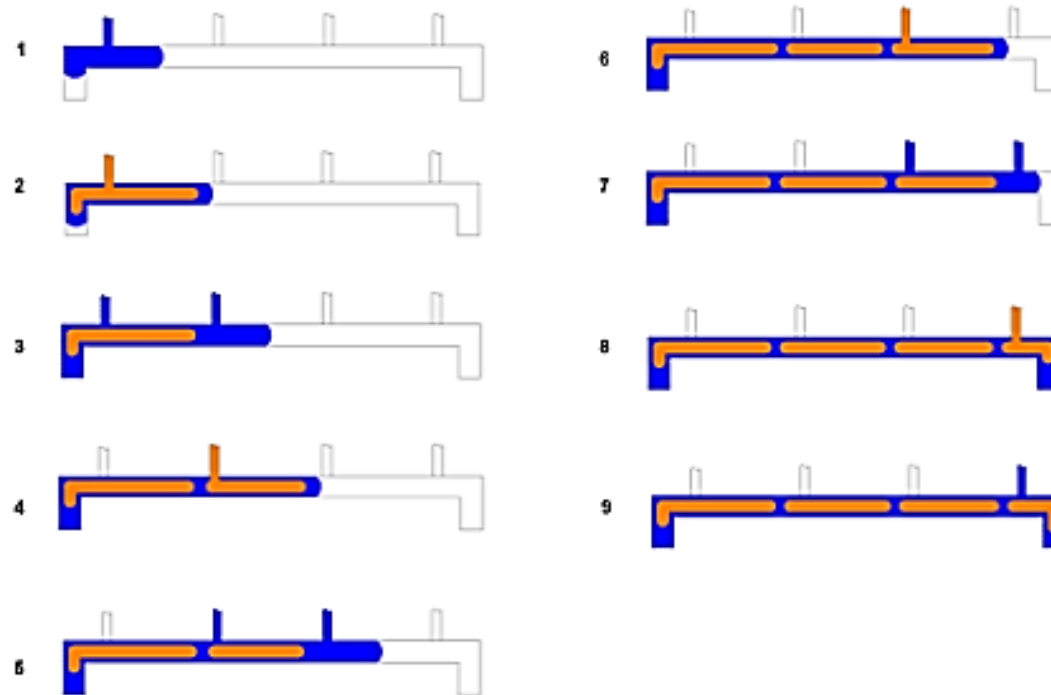


در این عملیات دو یا چند ماده به داخل حفره قالب تزریق می‌شوند. قطعه تولید شده حالت کامپوزیتی داشته و یک پوسته و یک مغزی از پلاستیک‌های مختلف دارد.



قالب‌گیری تزریقی توأم

قطعات اتومبیل، بدنه ماشینهای اداری، لوازم خانه و بدنه ابزارها از جمله قطعات تولیدی به کمک این روش می‌باشند.

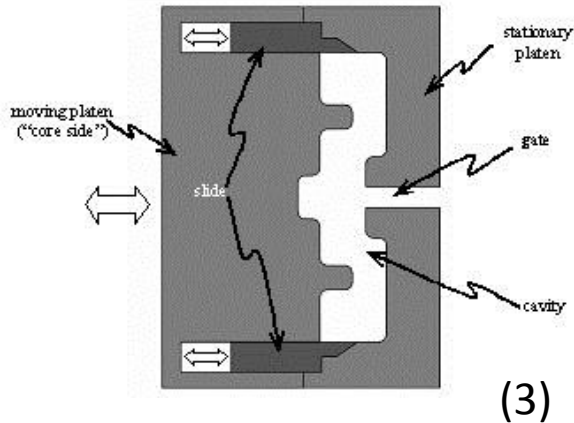


قالب‌گیری تزریق چندگانه (Multi-Shot Molding)

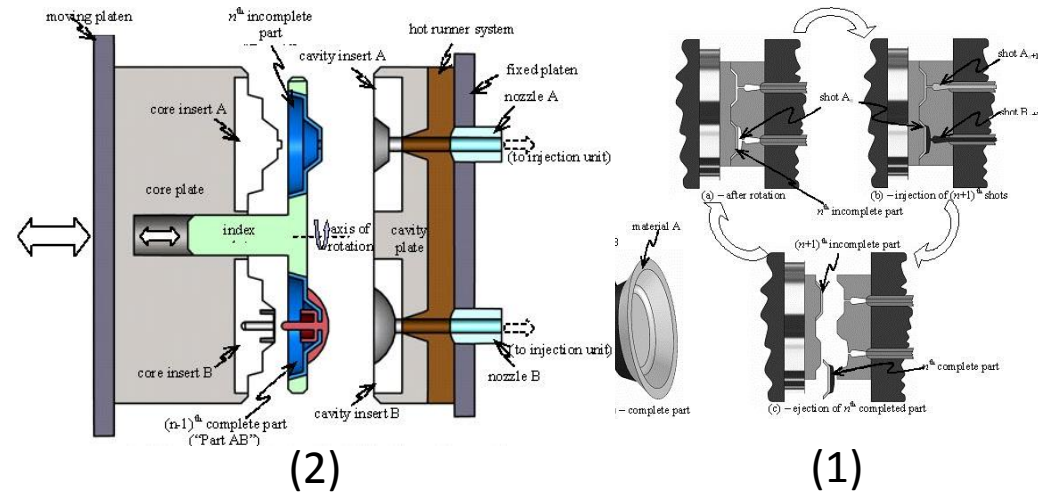
این فرایند شامل تزریق متوالی مواد مختلف در چند مرحله مجزا می‌باشد. هندسه قالب در مراحل مختلف تزریق ممکن است بصورت جزئی یا کامل تغییر کند.

سه روش رایج برای MSM عبارتند از:

1. Rotary Platen Multi-Shot Molding
2. Index Plate Multi-Shot Molding
3. Core Toggle Multi-Shot Molding



(3)



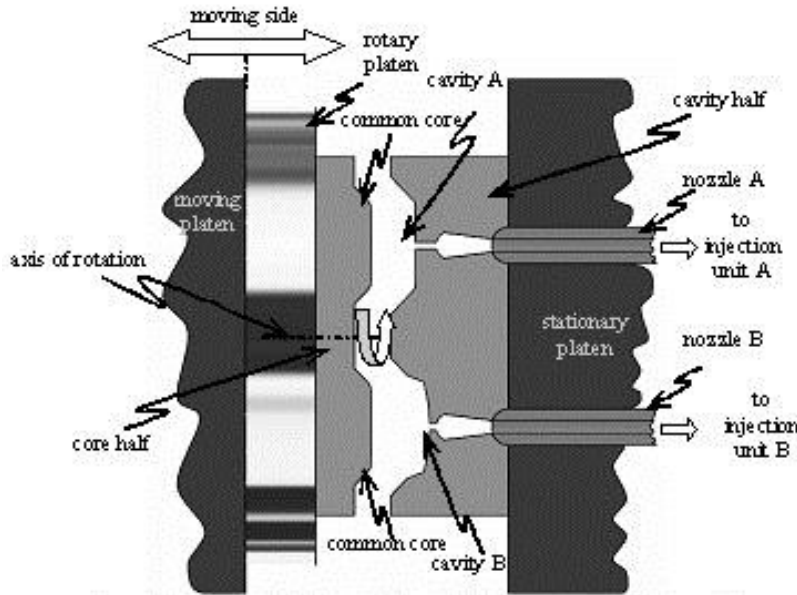
(2)

(1)



قالب‌گیری تزریق چندگانه

1. Rotary Platen Multi-Shot Molding



این روش جزء ساده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تزریق چندگانه می‌باشد. در این روش، قالب دارای تعداد حفره‌هایی برابر با تعداد مراحل تزریق می‌باشد. سنبه‌ها به لحاظ هندسی کاملاً مشابه بوده و روی یک صفحه گردان قرار دارند بطوریکه نسبت به محور مرکزی این صفحه متقارن می‌باشند. ماتریس‌ها روی یک صفحه ثابت نصب شده‌اند و دارای هندسه متفاوت از یکدیگر می‌باشند. در یک سیکل تولید، صفحه گردان کار قرار دادن قطعات نیمه کامل را در حفره‌های مختلف انجام می‌دهد.



قالب‌گیری تزریق چندگانه

1. Rotary Platen Multi-Shot Molding

مراحل:

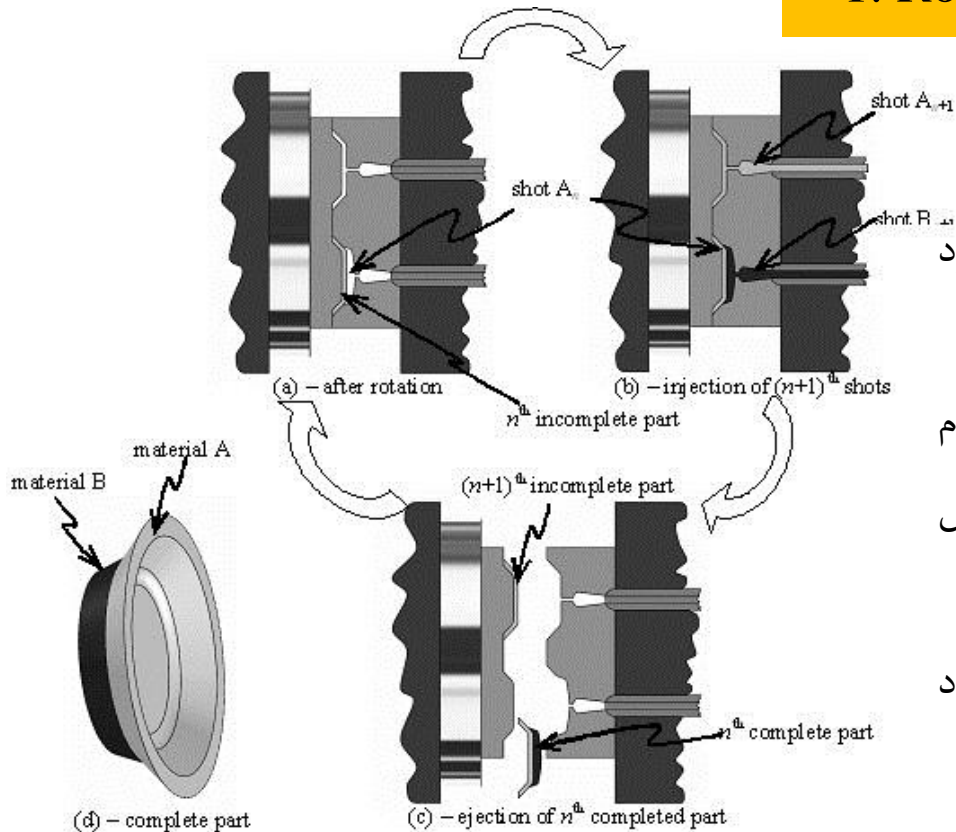
با فرض اینکه n مین قطعه در حال تولید می‌باشد:

۱- در این حالت n مین قطعه به صورت نیمه کامل در قالب B قرار دارد (شکل a).

۲- تزریق $(n+1)$ م به صورت همزمان در هر دو قالب A و B انجام می‌شود. در این مرحله قطعه n م در قالب B کامل شده و قطعه نیمه کامل در قالب A قرار دارد (شکل b).

۳- قالب‌ها باز شده و قطعه کامل شده (قطعه n م در قالب B) پُران می‌شود (شکل c).

۴- صفحه گردان 180° درجه می‌چرخد و قالب بسته می‌شود.

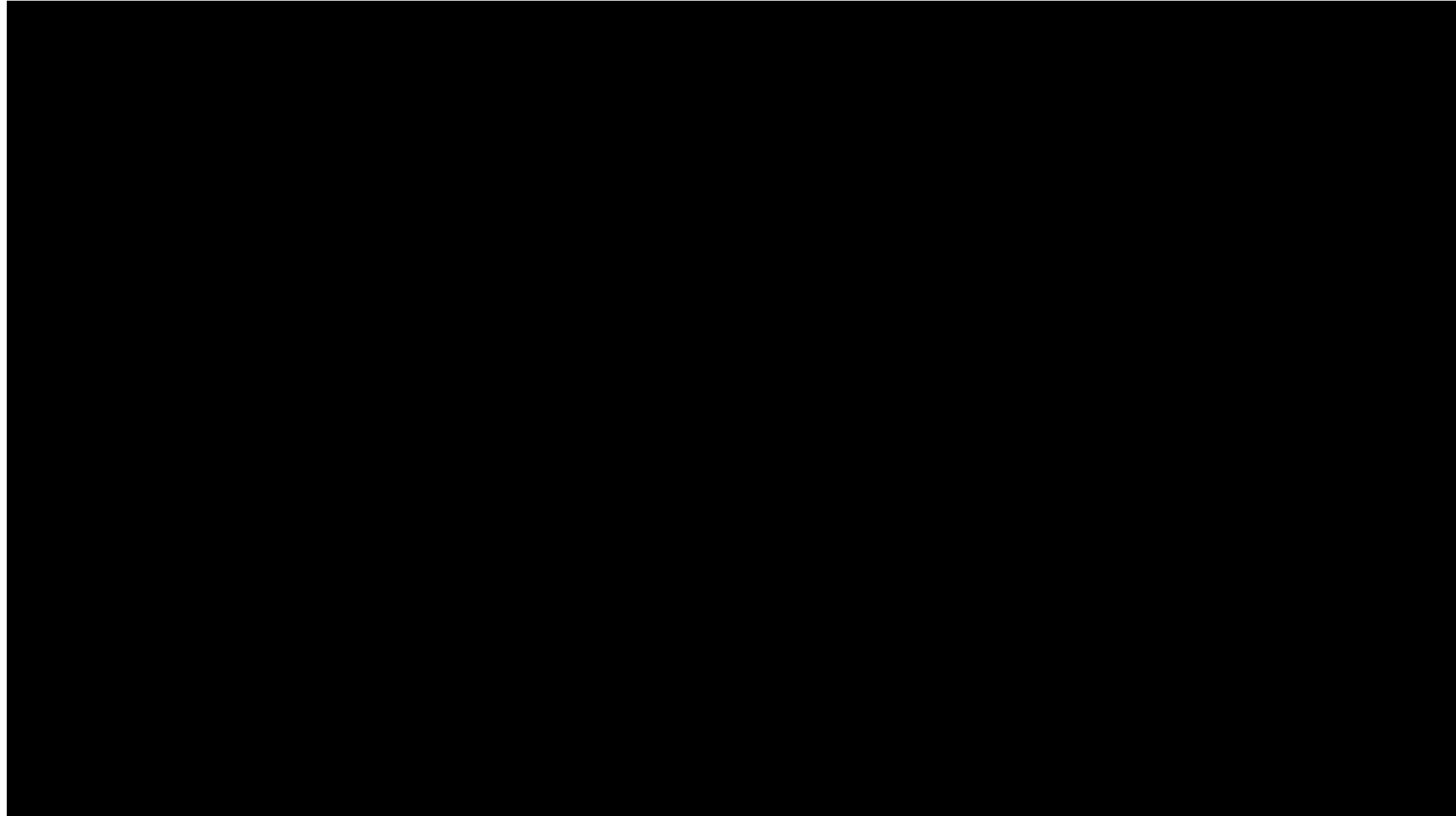


بسته به تعداد حفره‌های قالب ممکن است مقدار

چرخش در هر مرحله 180° ، 120° یا 90° درجه باشد.

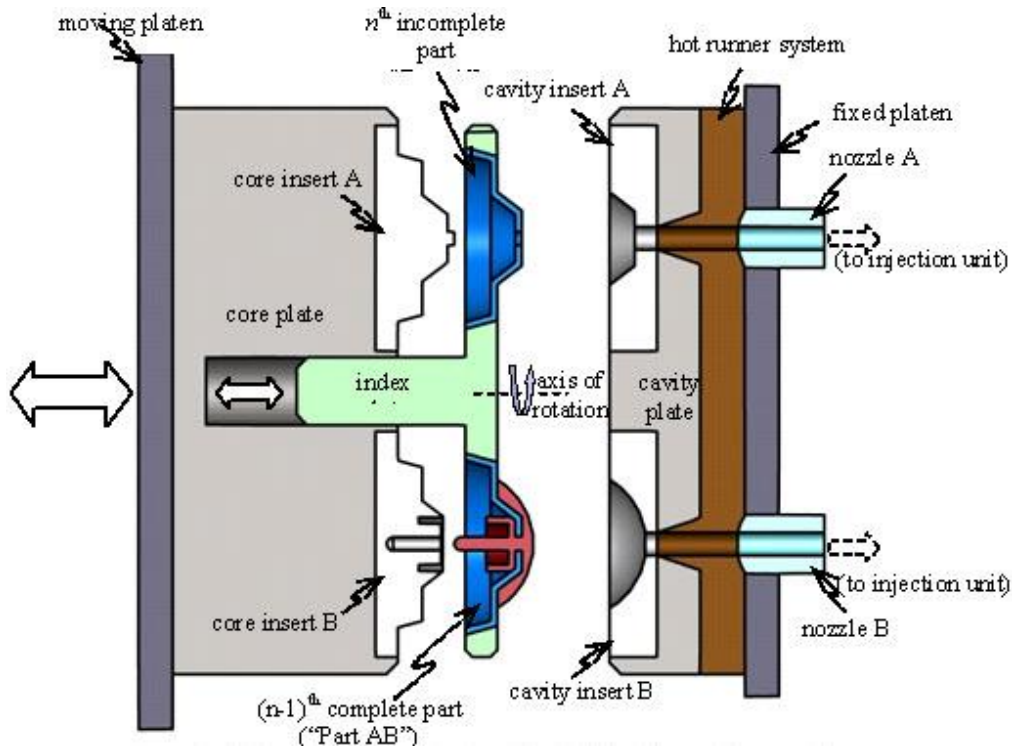


قالب‌گیری تزریق چندگانه



قالب‌گیری تزریق چندگانه

2. Index Plate Multi-Shot Molding



این روش مشابه با روش صفحه گردان می‌باشد با این تفاوت که در اینجا صفحه گردان می‌تواند از روی سنبه بلند شود و علاوه بر این هم هندسه سنبه‌ها و هم هندسه ماتریس‌های مختلف با یکدیگر، متفاوت می‌باشد. این روش نیاز به تجهیزات پیچیده‌تر و گرانتی نسبت به روش صفحه گردان دارد ولی در مقابل می‌توان از آن برای تولید قطعات پیچیده‌تر استفاده کرد.



قالب‌گیری تزریق چندگانه

2. Index Plate Multi-Shot Molding

مراحل:

با فرض اینکه n مین قطعه در حال تولید می‌باشد:

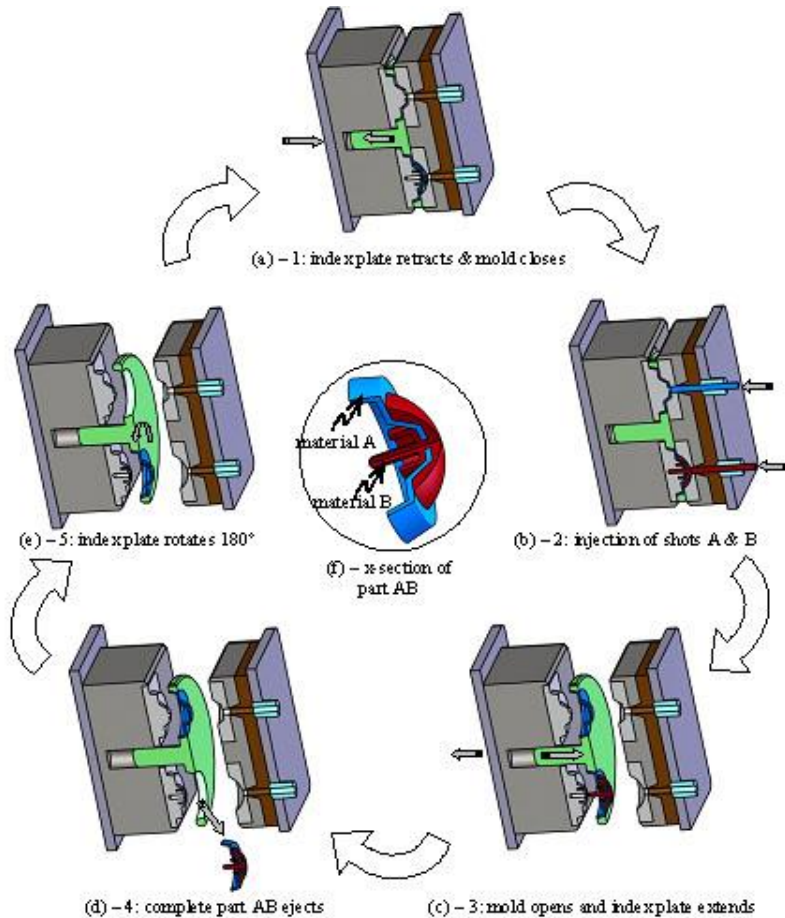
۱- در این حالت n مین قطعه به صورت نیمه کامل در قالب B قرار دارد. صفحه موقعیت‌دهنده روی صفحه سنبه قرار گرفته است (شکل a).

۲- تزریق $(n+1)$ م به صورت همزمان در هر دو قالب A و B انجام می‌شود. در این مرحله قطعه n م در قالب B کامل شده و قطعه نیمه کامل در قالب A قرار دارد (شکل b).

۳- قالب‌ها باز شده و صفحه موقعیت‌دهنده از روی سنبه بلند می‌شود (شکل c).

۴- قطعه کامل شده (قطعه n م قالب B) پُران می‌شود (شکل c).

۵- صفحه موقعیت‌دهنده 180° درجه می‌چرخد و روی سنبه قرار می‌گیرد و قالب بسته می‌شود.

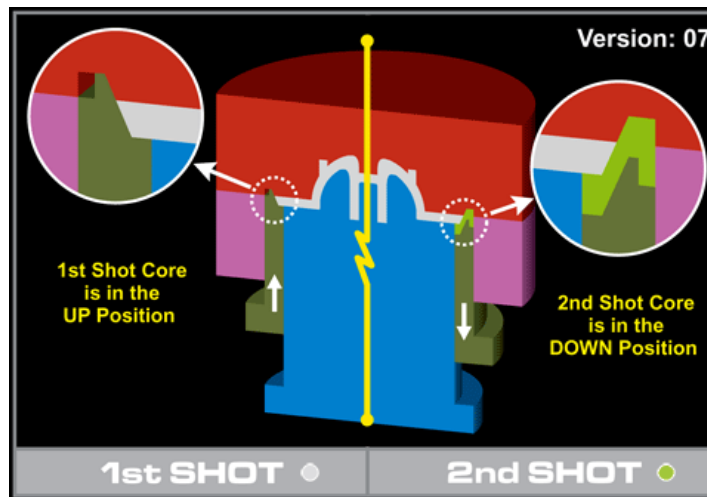
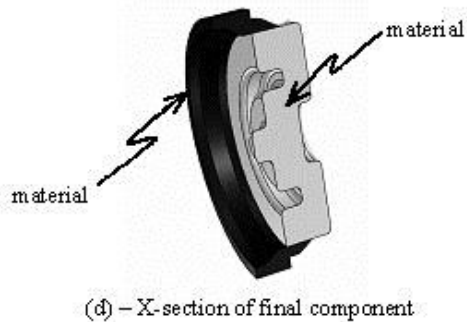
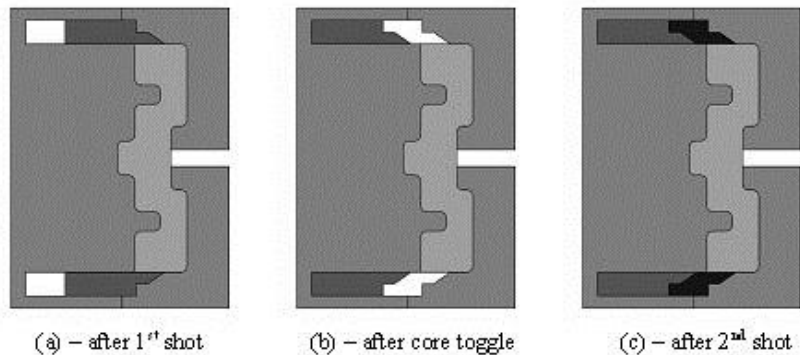


قالب‌گیری تزریق چندگانه

3. Core Toggle Multi-Shot Molding

این روش ساده‌ترین روش تزریق چندگانه می‌باشد. سنبه و ماتریس بدون حرکت هستند. یک مکانیزم رفت و برگشتی باعث تغییر جزئی در هندسه حفره قالب می‌شود.

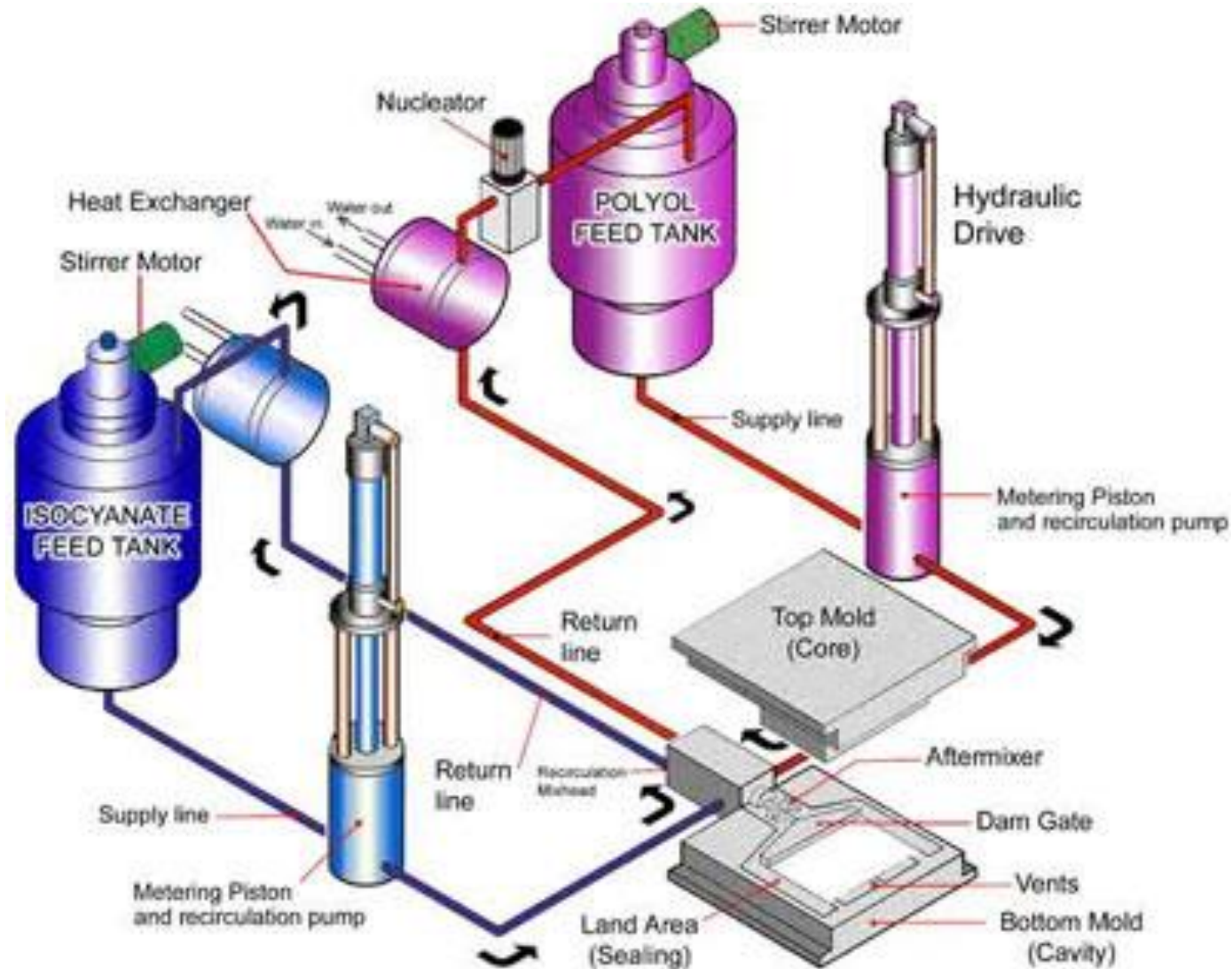
ابتدا حفره قالب با ماده A پر می‌شود. بخش متحرک جابه‌جا شده و ماده B تزریق می‌شود و در نهایت قطعه پران می‌شود.



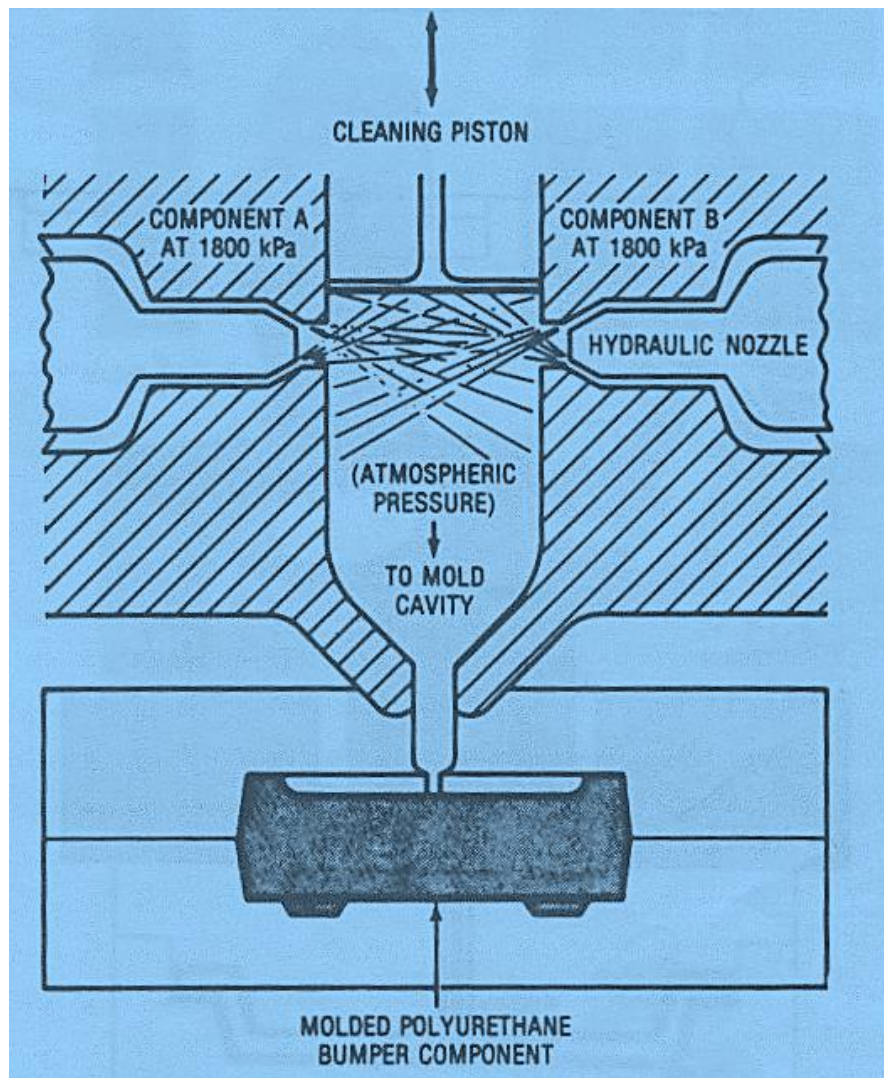
قالب گیری تزریق چندگانه



قالب گیری تزریقی واکنشی (Reaction Injection Molding)



قالب‌گیری تزریقی واکنشی (Reaction Injection Molding)



در این روش دو رزین مایع با قابلیت واکنش زیاد به صورت دقیق مخلوط شده و با فشار کم به محفظه قالب رانده می‌شوند. تنها عامل محدود کننده اندازه قطعات قابل تولید، محدودیت در ابعاد قالب و تجهیزات می‌باشد. این روش جزء روش‌های کم هزینه برای تولید قطعات با دقت متوسط می‌باشد.

قطعات بزرگ با سرعت زیاد قابل تولید هستند.

قطعه تولیدی دارای مغزی سلولی و پوسته متراکم می‌باشد.



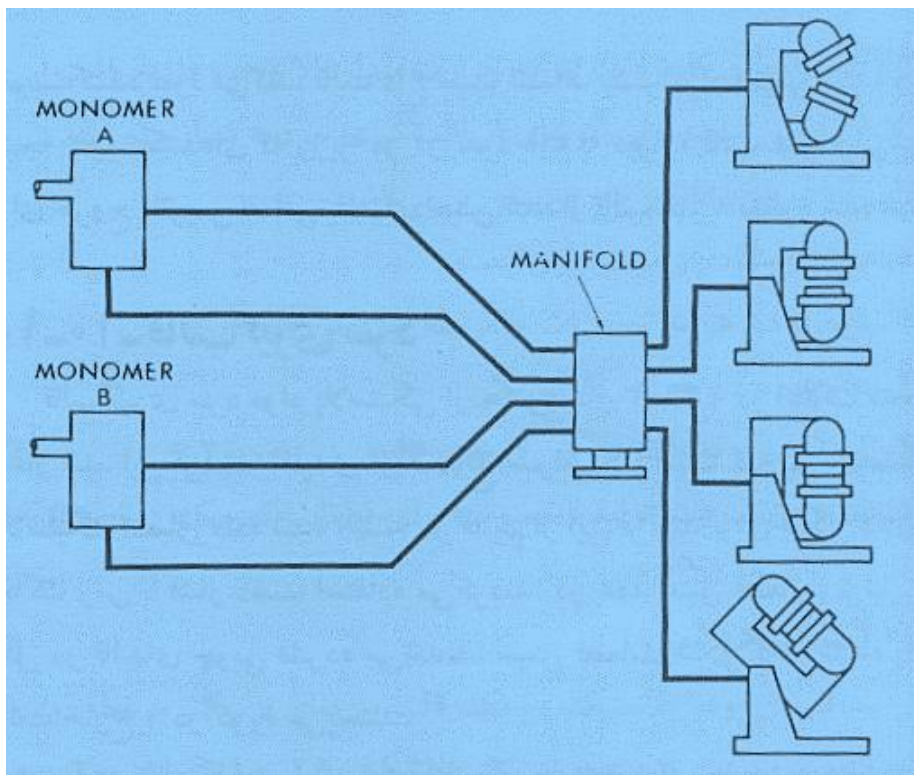
قالب گیری تزریقی واکنشی (Reaction Injection Molding)



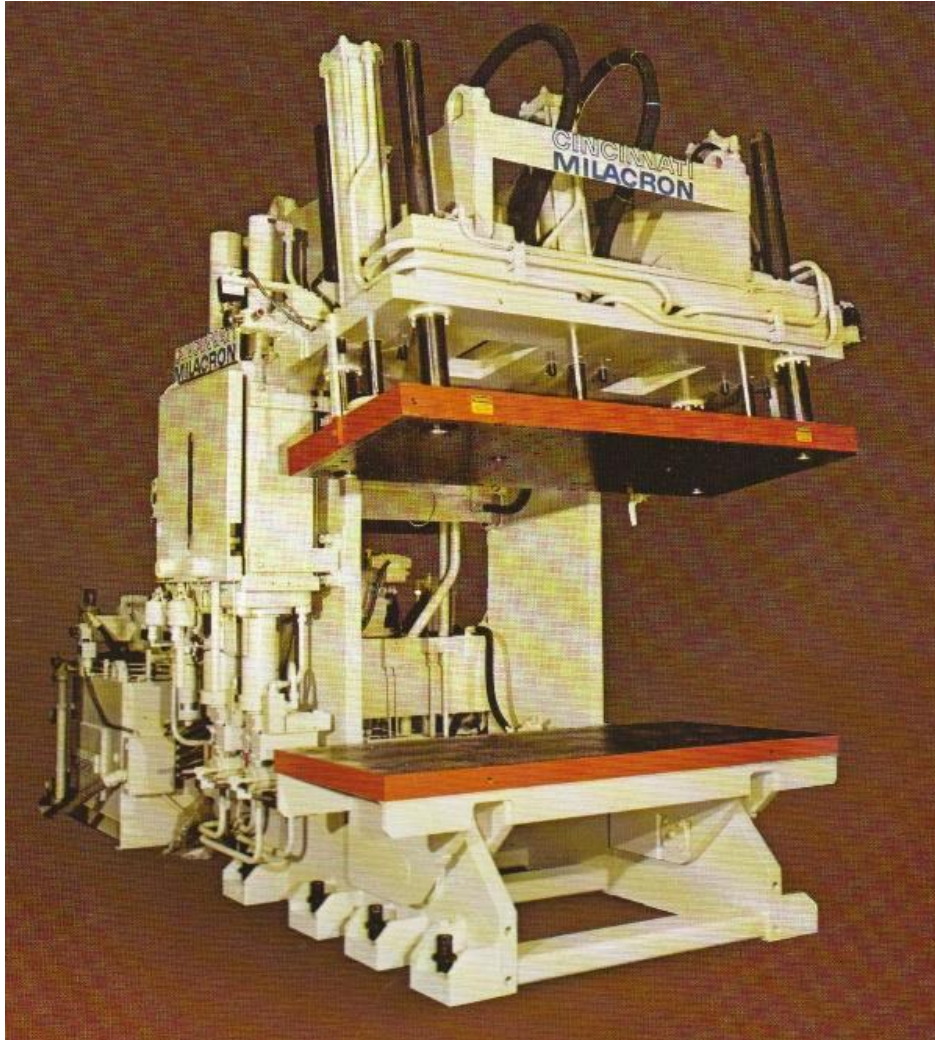
قالب‌گیری تزریقی واکنشی

معمولا برای دسترسی راحت‌تر به فضای درون قالب برای خارج کردن قطعات تولیدی، نیمه‌های قالب به صورت کتابی باز و بسته می‌شوند. برای بهبود خواص می‌توان الیاف کوتاه را به رزین مایع اضافه نمود، که در این مورد فرایند تحت عنوان فرایند تزریق واکنشی تقویت شده خوانده می‌شود. در این حالت سایش سطوح قالب و ویسکوزیته رزین افزایش می‌یابد.

از این روش بیشتر در صنایع خودروسازی و لوازم خانگی استفاده می‌شود. نمونه قطعات: سپر، ضربه گیر، اجزای کابینت.



قالب‌گیری تزریقی واکنشی



قالب‌گیری رزین مایع (Liquid Resin Molding)

قالب‌گیری رزین مایع (Liquid Resin Molding-LRM): به فرایندهایی که در آنها فراورده بوسیله روشهای کم فشار مختلف تولید می‌شود، اطلاق می‌شود. در این روش‌ها مخلوط شدن بیشتر به صورت مکانیکی انجام می‌شود تا برخوردی (مانند قالب‌گیری تزریقی واکنشی)

چند نمونه از روش‌های قالب‌گیری رزین مایع عبارتند از:

۱- قالب‌گیری انتقال رزین (Resin Transfer Molding - RTM)

۲- قالب‌گیری تزریقی مکشی (Vacuum Injection Molding - VIM)

۳- قالب‌گیری انتقال رزین بر اثر انبساط حرارتی (Thermal Expansion Resin Transfer Molding - TERTM)

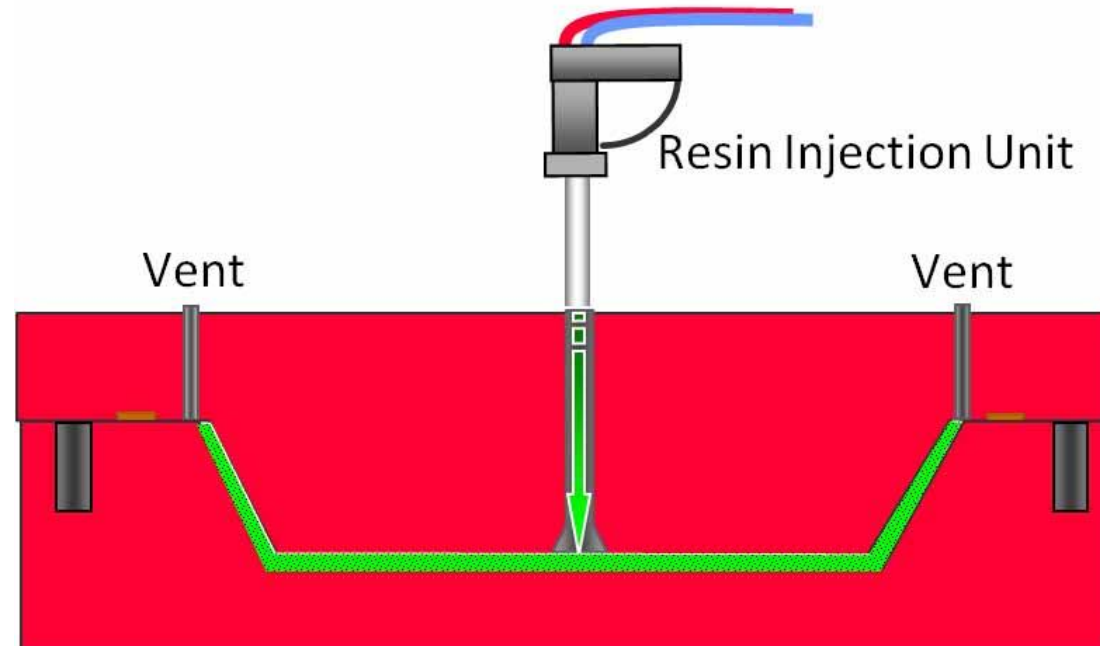
پلاستیک‌های قابل استفاده برای قالب‌گیری رزین مایع: اپوکسی، سیلیکون، پلی‌استر و پلی‌یورتان.



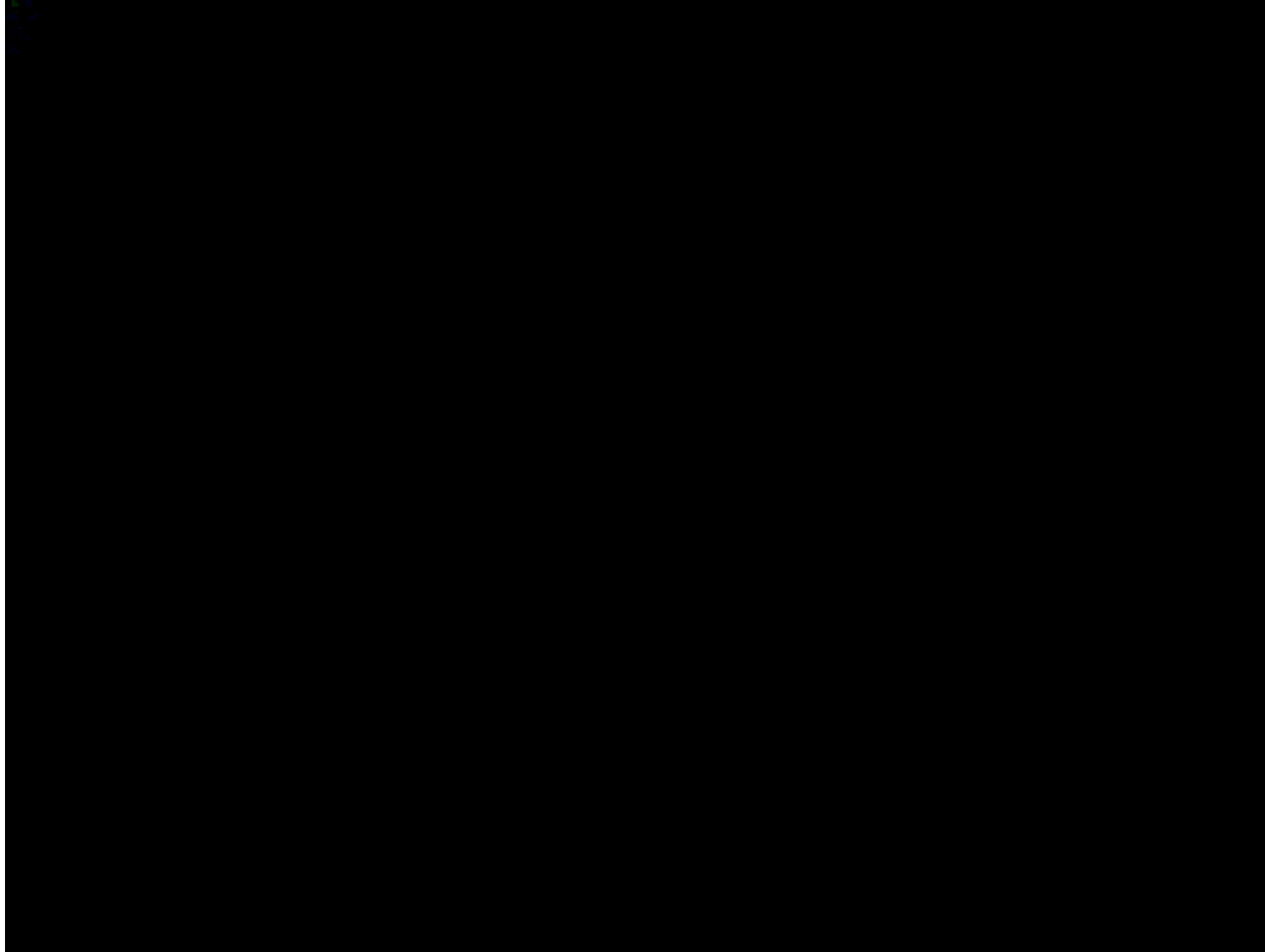
قالب‌گیری انتقال رزین (Resin Transfer Molding)

در این روش رزین کاتالیست شده با فشار کم به داخل قالبی که در آن قطعات شکستنی یا تقویت کننده‌ها قرار دارند رانده می‌شود. فشار کم باعث می‌شود به جهت الیاف پیش فرم یا اجزای دیگر آسیبی وارد نشود.

Resin Transfer Molding

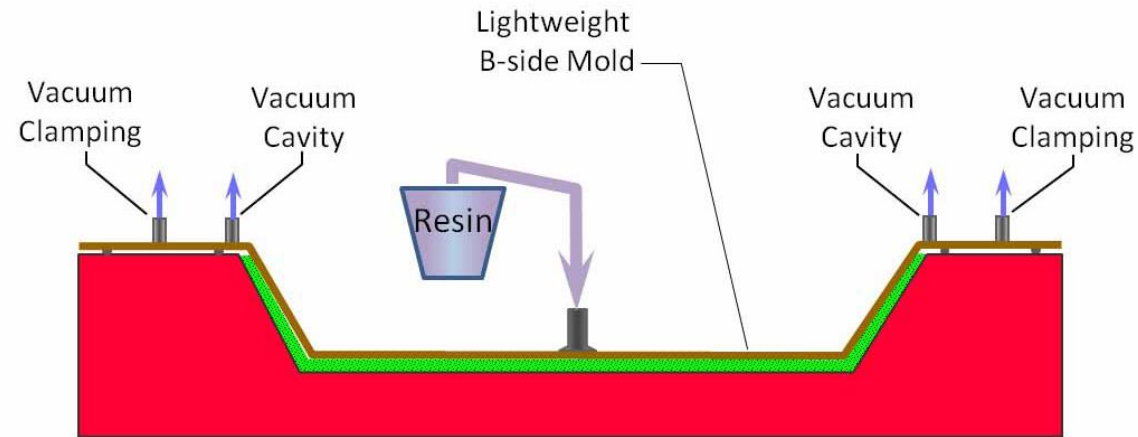


قالب‌گیری انتقال رزین (Resin Transfer Molding)



قالب‌گیری انتقال رزین

Light-RTM



قالب‌گیری انتقال رزین



قالب‌گیری انتقال رزین

مزایای RTM:

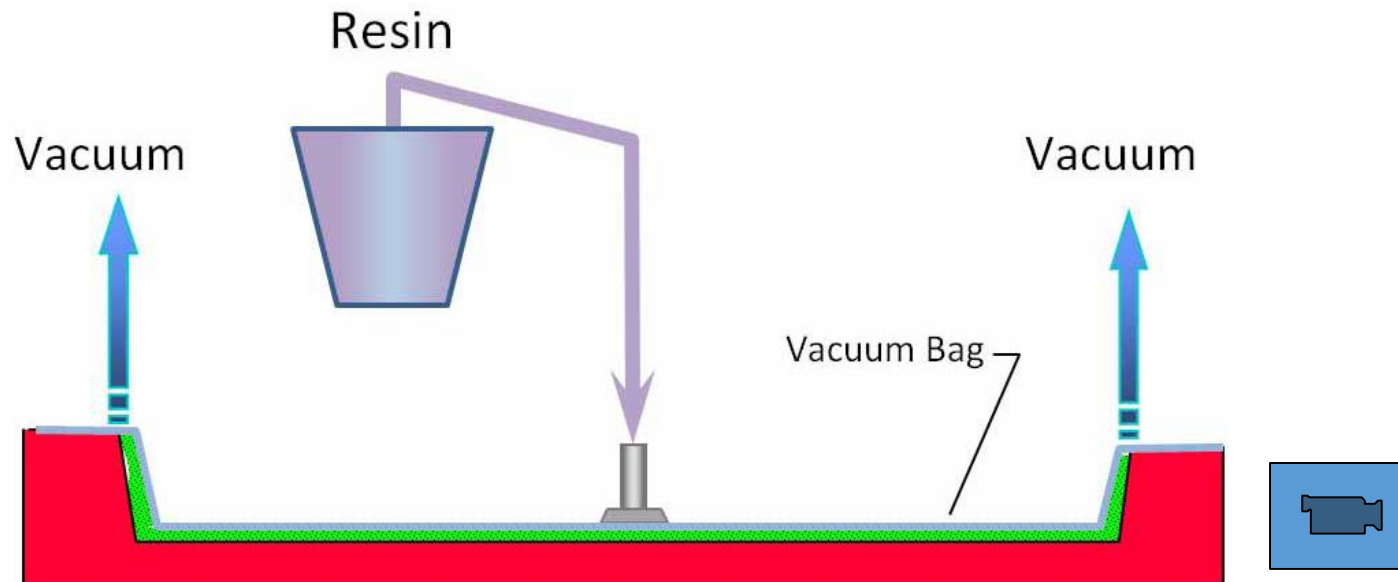
- حذف مرحله پلاستی‌سایز نمودن مورد نیاز برای ترکیبات خشک.
- روکش نمودن قطعات ظریف و شکننده امکان‌پذیر است.
- عدم نیاز به پیش‌گرم و پیش‌فرم
- عدم نیاز به مخلوط کردن دستی
- نیاز به فشار کمتر
- کم شدن ضایعات
- کاهش جابه‌جایی مواد
- سریع بودن تثبیت رزین در دمای کمتر



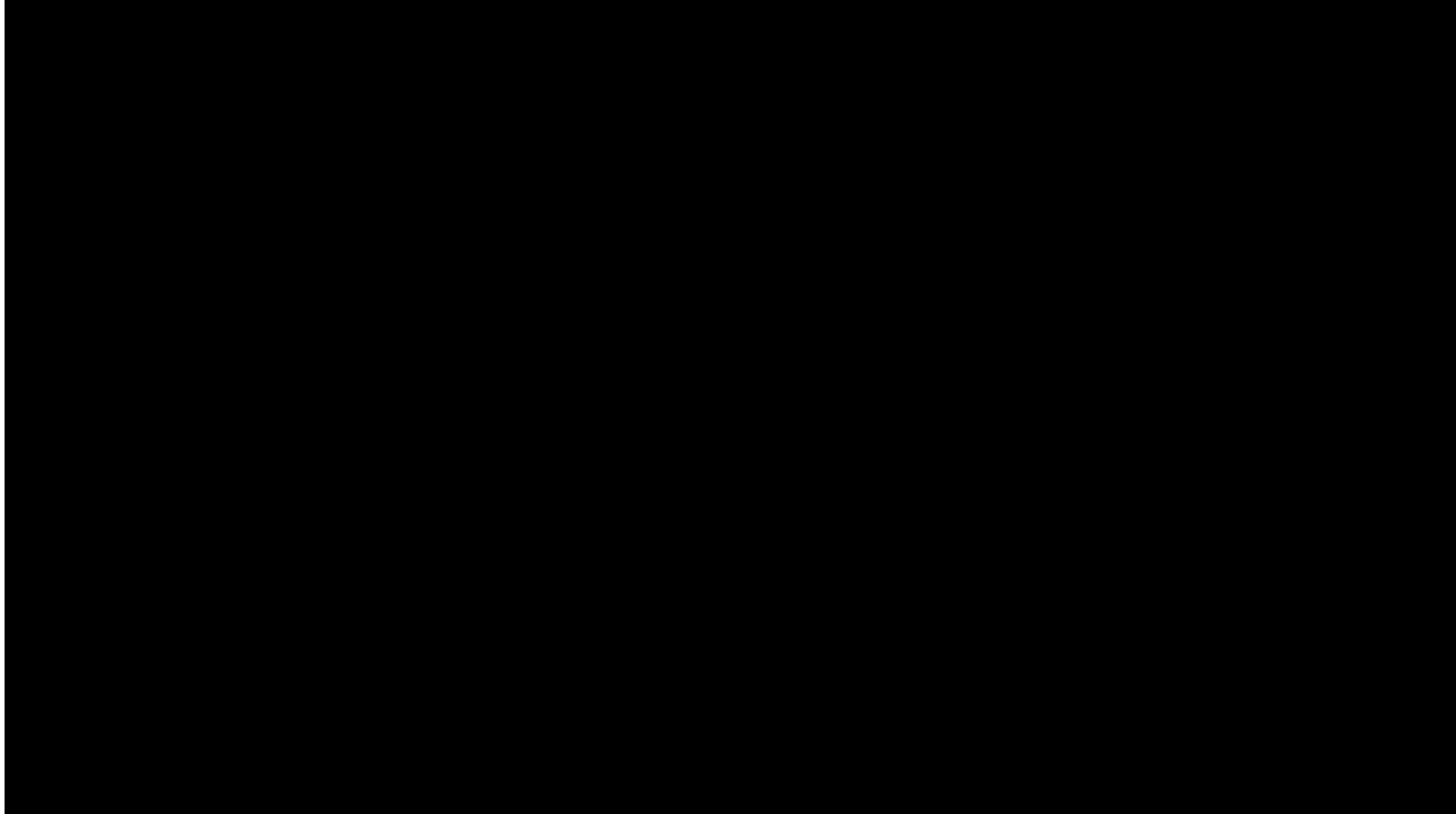
قالب‌گیری تزریقی مکشی (Vacuum Infusion Molding)

قالب‌گیری تزریقی مکشی (Vacuum Infusion Molding-VIM) شبیه RTM می‌باشد با این تفاوت که در اینجا از یک ورق انعطاف‌پذیر یا کیسه (با قابلیت استفاده مجدد) استفاده می‌شود. این فرایند موجب فشردن شدن بیشتر لایه‌ها، نسبت شیشه به رزین بالاتر و خواص استحکام به وزن عالی می‌شود.

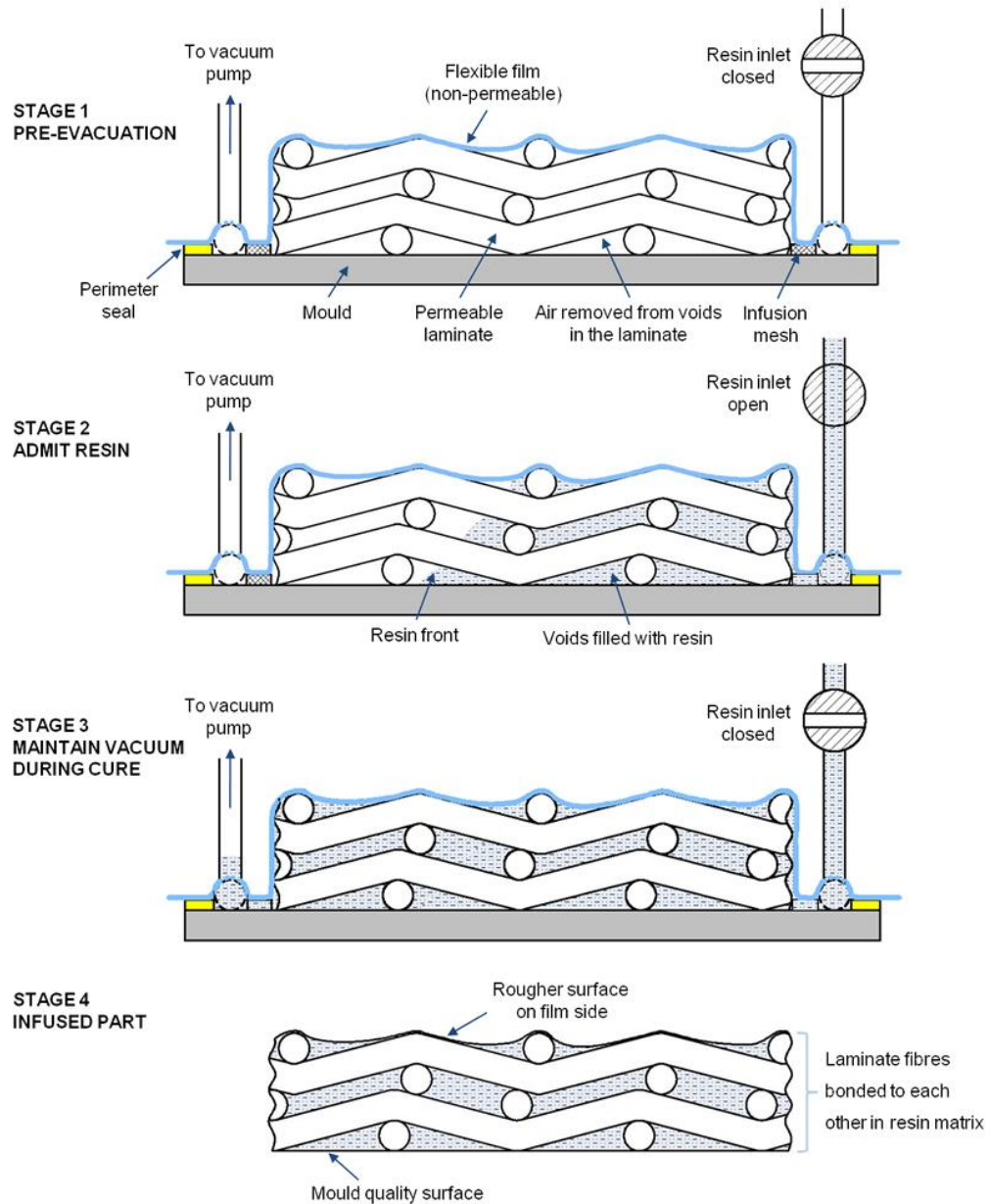
در فرایند Light-RTM رزین با یک فشار کم (حدود 2 Psi) تزریق می‌شود.



قالب‌گیری تزریقی مکشی (Vacuum Infusion Molding)



قالب‌گیری تزریقی مکشی



قالب‌گیری انتقال رزین با انبساط حرارتی (TERTM)

قالب‌گیری انتقال رزین با انبساط حرارتی (Thermal Expansion RTM-TERTM) گونه‌ای از RTM است که در آن یک میله سلولی PU یا PVC که با تقویت‌کننده‌ها پیچیده شده است، در قالب قرار می‌گیرد و رزین به داخل تقویت‌کننده تزریق می‌شود. قالب داغ سبب انبساط بیشتر مواد سلولی شده و در نتیجه تقویت‌کننده‌ای که رزین در آن نفوذ کرده به دیواره قالب فشرده می‌شود.



قالب‌گیری سرد (Cold Molding)

قالب‌گیری سرد (Cold Molding) شبیه قالب‌گیری فشاری می‌باشد با این تفاوت که قالب گرم نمی‌شود. پس از فشردن قالب زیر پرس و فرم گرفتن آن، قالب داخل کوره قرار می‌گیرد تا قطعه جامد شود. قطعات نمونه: قطعات عایق الکتریکی، دسته‌های ظروف، جعبه باطری و دسته شیر فلکه.

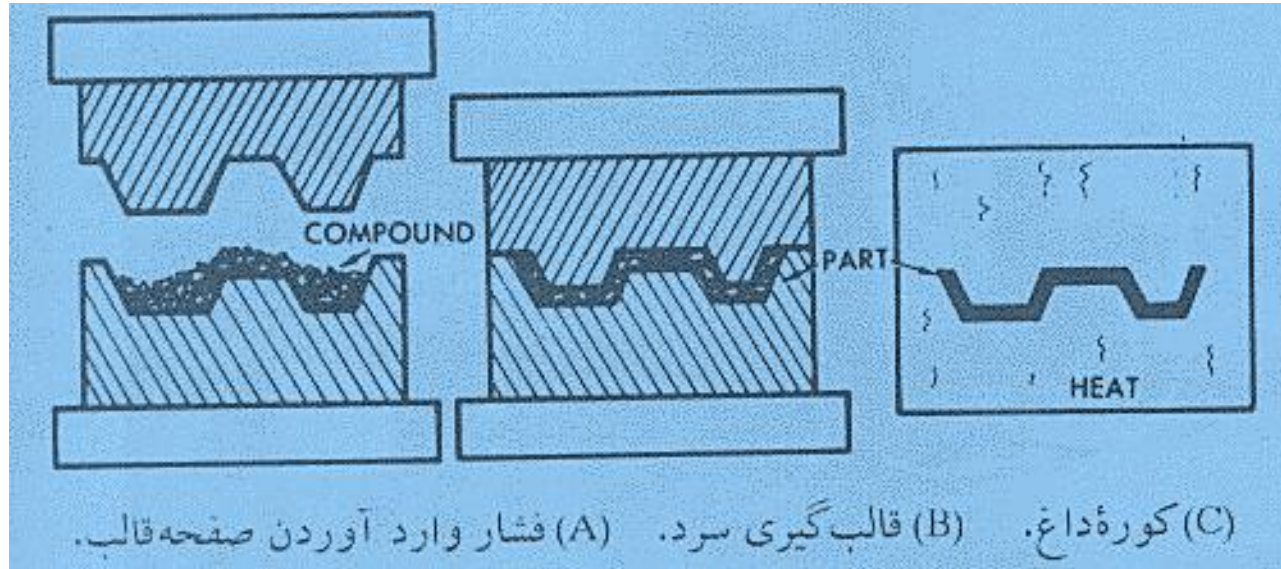
۱- امکان استفاده از مواد ارزان قیمت

۲- پایین بودن هزینه تجهیزات و مرحله سرد شدن

۳- مطلوب بودن خواص الکتریکی

۴- تثبیت شدن قطعه در کوره بجای قالب

۵- بالا بودن سرعت تولید

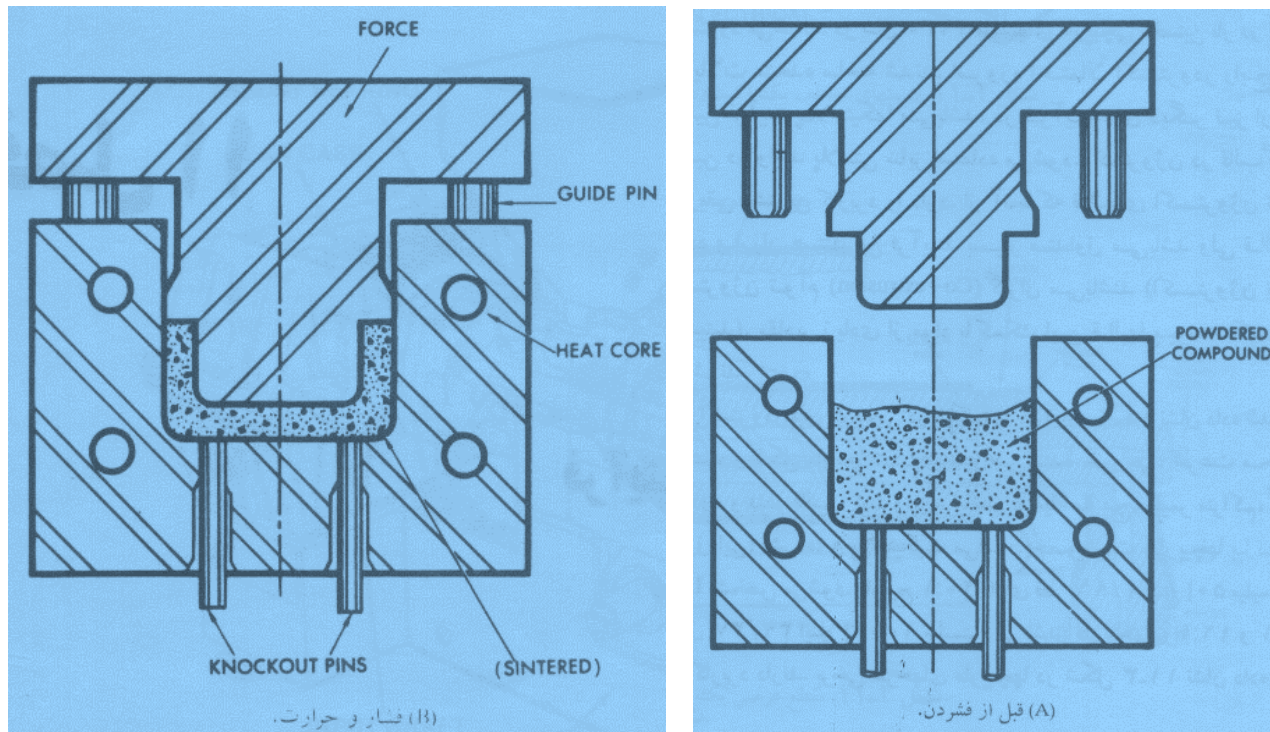


(A) فشار وارد آوردن صفحه قالب. (B) قالب‌گیری سرد. (C) کوره داغ.



همجوشی (Sintering)

همجوشی: فرایند فشردن پودر پلاستیک در یک قالب در دمای نزدیک به نقطه ذوب به مدت نیم ساعت. ذرات پودر به یکدیگر جوش می‌خورند ولی جسم کاملاً ذوب نمی‌شود. اتصال از طریق تبادل اتمها بین ذرات صورت می‌گیرد. پس از همجوشی، مواد تحت فشار و حرارت به ابعاد مورد نیاز شکل داده می‌شود.



متغیرهای موثر بر فرایند همجوشی درجه حرارت، زمان و ترکیب پلاستیک می‌باشد.

پلاستیک‌ها: PA، PTFE

قطعات نمونه: بوش، یاتاقان و قطعات عایق الکتریکی.