

CHƯƠNG 3

ĐÚC PHUN

(INJECTION MOLDING)

Đúc phun là một quá trình đa năng, tạo ra sản phẩm từ vài gam đến 150kg. Nhựa nóng chảy được đưa vào khuôn đúc, làm lạnh cho đến khi nhựa đông rắn. Sản phẩm lấy ra và quá trình được lập lại.

Đúc khuôn: năng suất cao, độ chính xác cao, tạo được sản phẩm có hình dạng phức tạp. Với nhựa nhiệt dẻo, 90% sử dụng đúc phun. Đúc phun liên quan đến 1/3 sản lượng nhựa tiêu thụ để gia công nhựa nhiệt dẻo.

Công nghệ đúc phun gồm: máy đúc phun, khuôn đúc, thiết bị cấp liệu và vận chuyển, sấy, điều chỉnh nhiệt độ, làm lạnh, thiết bị điều khiển tự động.

1. Thiết bị đúc phun (injection molding)

Gồm có 3 phần chính: cụm phun, bàn kẹp và hệ thống điều khiển. Thiết bị phun làm hoá dẻo và phun nhựa. Bàn kẹp đỡ, đón, mở khuôn, tháo sản phẩm.

Cụm phun đẩy đầu phun tiếp xúc vào rãnh rót của khuôn, nóng chảy nhựa, phun nhựa nóng chảy vào khuôn, tạo và duy trì áp suất.

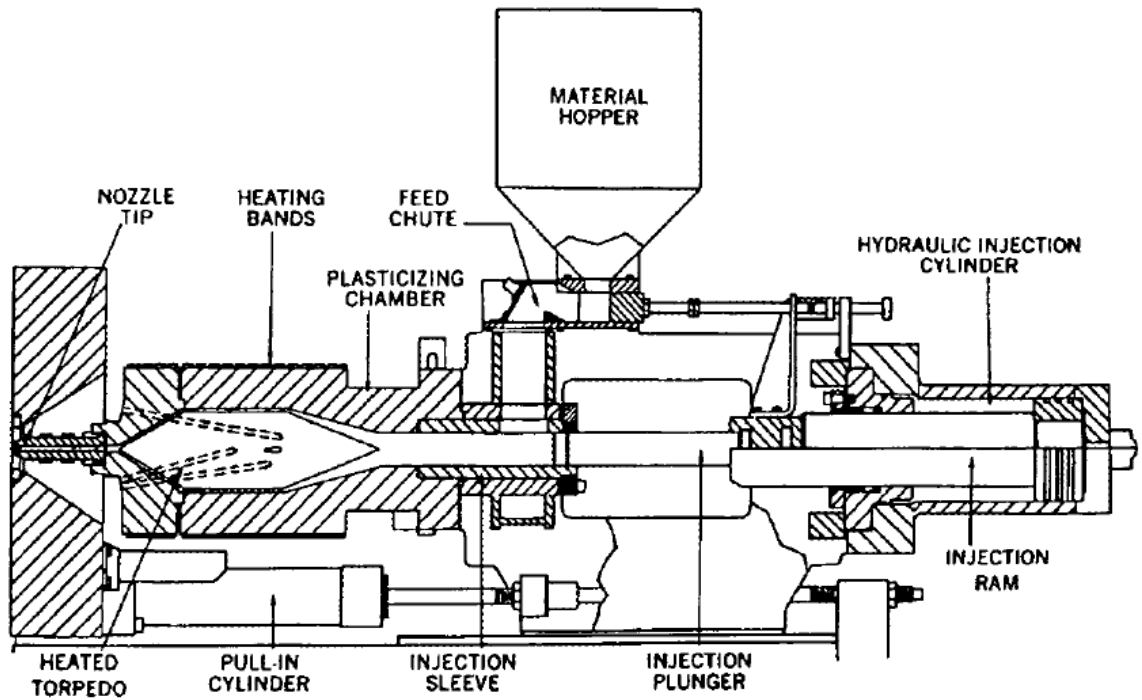


Figure 5.55 Plunger injection-molding machine.¹²⁵

Trên hình 5.55 là thiết bị đúc phun đơn cấp pittông (single stage plunger), nóng chảy nhựa bằng cách cấp nhiệt từ thành, đẩy nhựa bằng pittông thuỷ lực. Loại này có nhược điểm: lượng nhựa phun nhỏ ($<435\text{cm}^3$) (limited shot size), khó điều chỉnh lượng nhựa, nóng chảy và khuấy trộn kém, nhiệt nóng chảy phân bố không đều, thời gian lưu dài, phân bố thời gian lưu rộng, tổn thất áp suất cao. Tuy nhiên thiết bị này vẫn được sử dụng với các sản phẩm rất nhỏ.

Thiết bị pittông trục vít hai giai đoạn (two stage screw plunger machines).
5.56

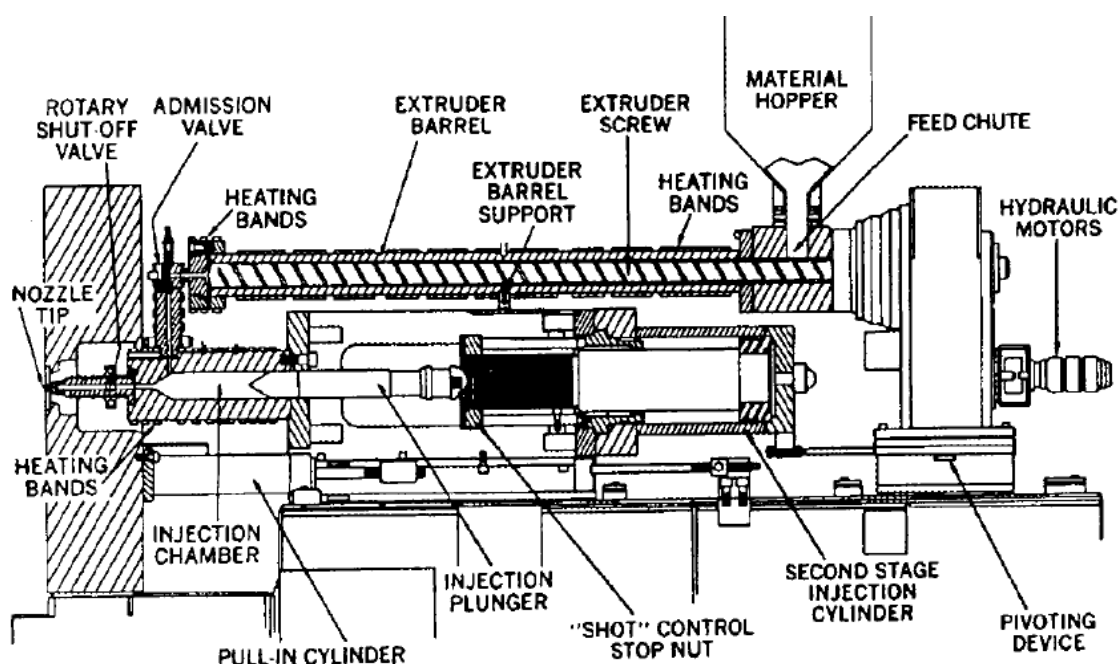


Figure 5.56 Two-stage screw-plunger injection-molding machine.¹²⁸

Dùng trục vít để nóng chảy nhựa, pittong thủy lực riêng biệt để phun nhựa vào khuôn. Hai chức năng hoá dẻo và phun được tách biệt có thể cải thiện quá trình nóng chảy và khuấy trộn polymer nóng chảy, lượng nhựa phun lớn, dễ không chế lượng nhựa phun, tổn thất áp suất nhỏ, thời gian cho mỗi chu kỳ ngắn lại. Loại này áp dụng với: sản phẩm lớn, có chiều dài chảy dài lớn (long flow length).

Thiết bị phun trục vít chuyển động qua lại một giai đoạn (single stage reciprocating screw injection units), trục vít quay để hoá dẻo (plasticate) polymer, chuyển động thẳng để phun nhựa nóng chảy. (hình 5.57)

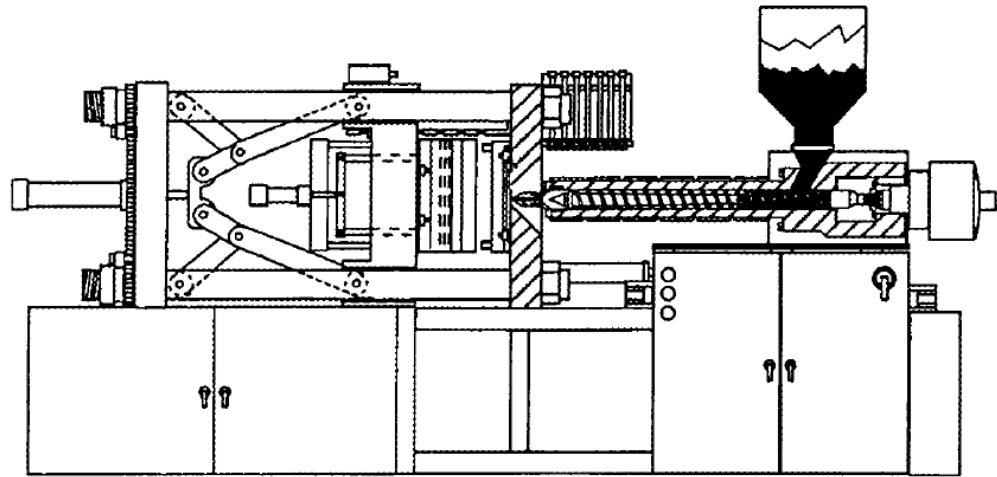


Figure 5.57 Reciprocating-screw injection-molding machine.¹²⁹

Trên hình 5.58, thiết bị phun có hai bộ phận chính: hoá dẻo và trượt

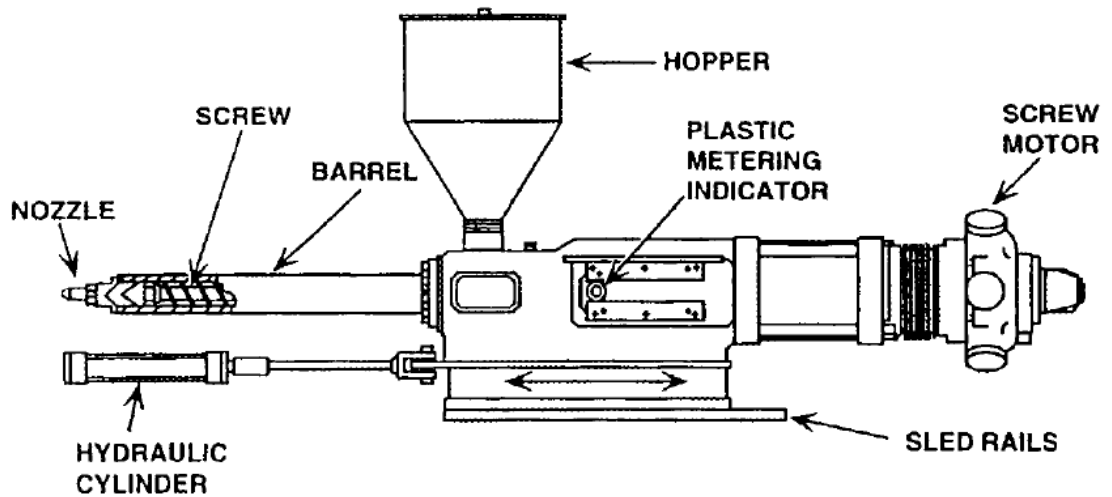


Figure 5.58 Injection unit.¹³⁰

Bộ phận hoá dẻo gồm: phễu, hống cấp liệu, thân, trục vít, động cơ và đầu phun (nozzle). Khi hoá dẻo nhựa, thiết bị này (trục vít chuyển động qua lại đơn cấp) hoạt động như máy đùn. Hạt nhựa rắn đưa vào phễu, qua hống cấp liệu, vào trục vít. Tuy nhiên, trục vít đúc phun không giống như trục vít máy đùn, đầu cuối là van một chiều (nonreturn valve). Khi nhựa nóng chảy đi qua valve, nó không quay trở lại phía hống cấp liệu trong pha phun của chu kỳ đúc. Đầu phun tiếp xúc với khuôn đúc, đầu phun mở, nhựa được đẩy ra. Vì vậy, dòng nhựa phun ra được rãnh của bộ phận làm lạnh chặn lại, nhựa bị giữ lại ở phần giữa van một chiều và đầu phun. Áp suất tạo ra từ nhựa nóng chảy

đẩy trục vít trở lại đến khoảng cách đã định trước, đến một giới hạn nhất định, động cơ trục vít sẽ dừng lại. Một lượng nhựa phun được xác định. Trong quá trình phun, trục vít bị đẩy lên phía trước nhờ pittong thuỷ lực hay động cơ điện. Nhựa nóng chảy sẽ được đẩy vào khuôn nhờ đầu phun.

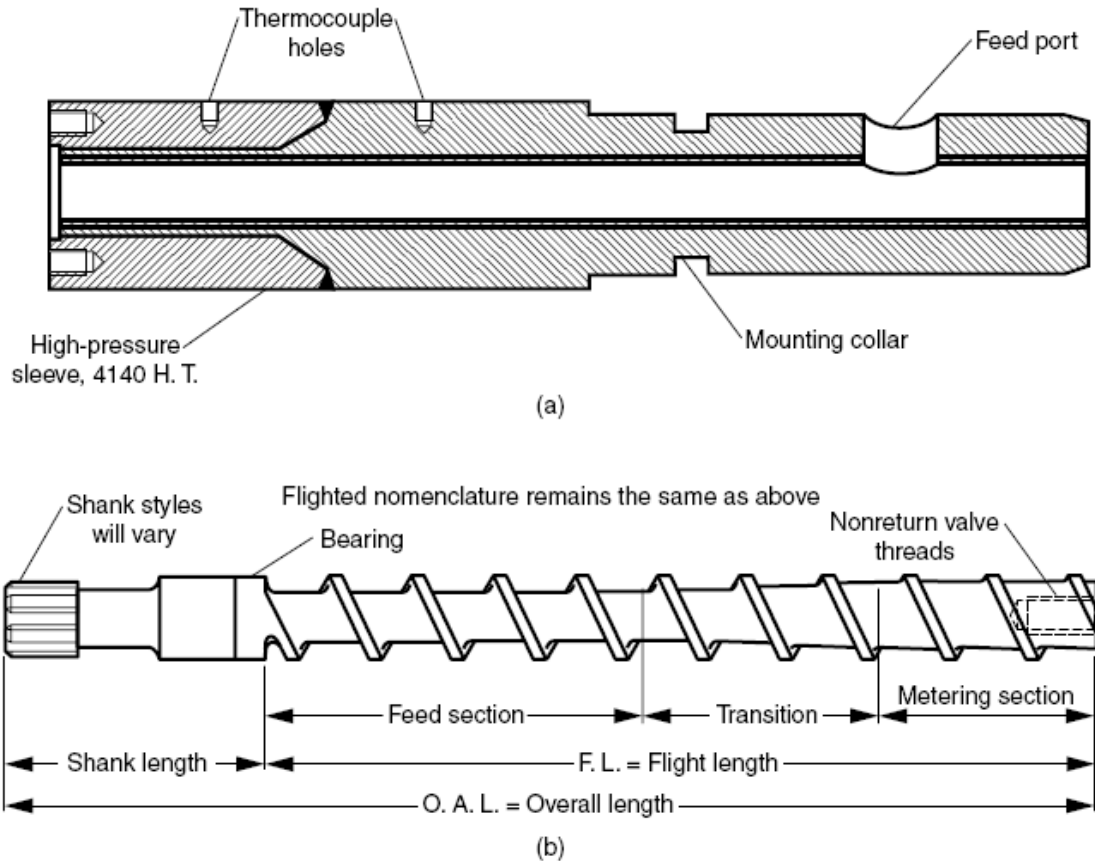


Figure 5.59 Components of an injection unit: (a) barrel¹³¹ and (b) screw.¹³⁴

Thân máy đúc phun thường ngắn hơn so với thân máy đùn. L/D thông thường từ 18:1 đến 24:1, 22:1 đến 26:1 với máy hoạt động nhanh, 28:1 với máy đúc phun có thoát khí.

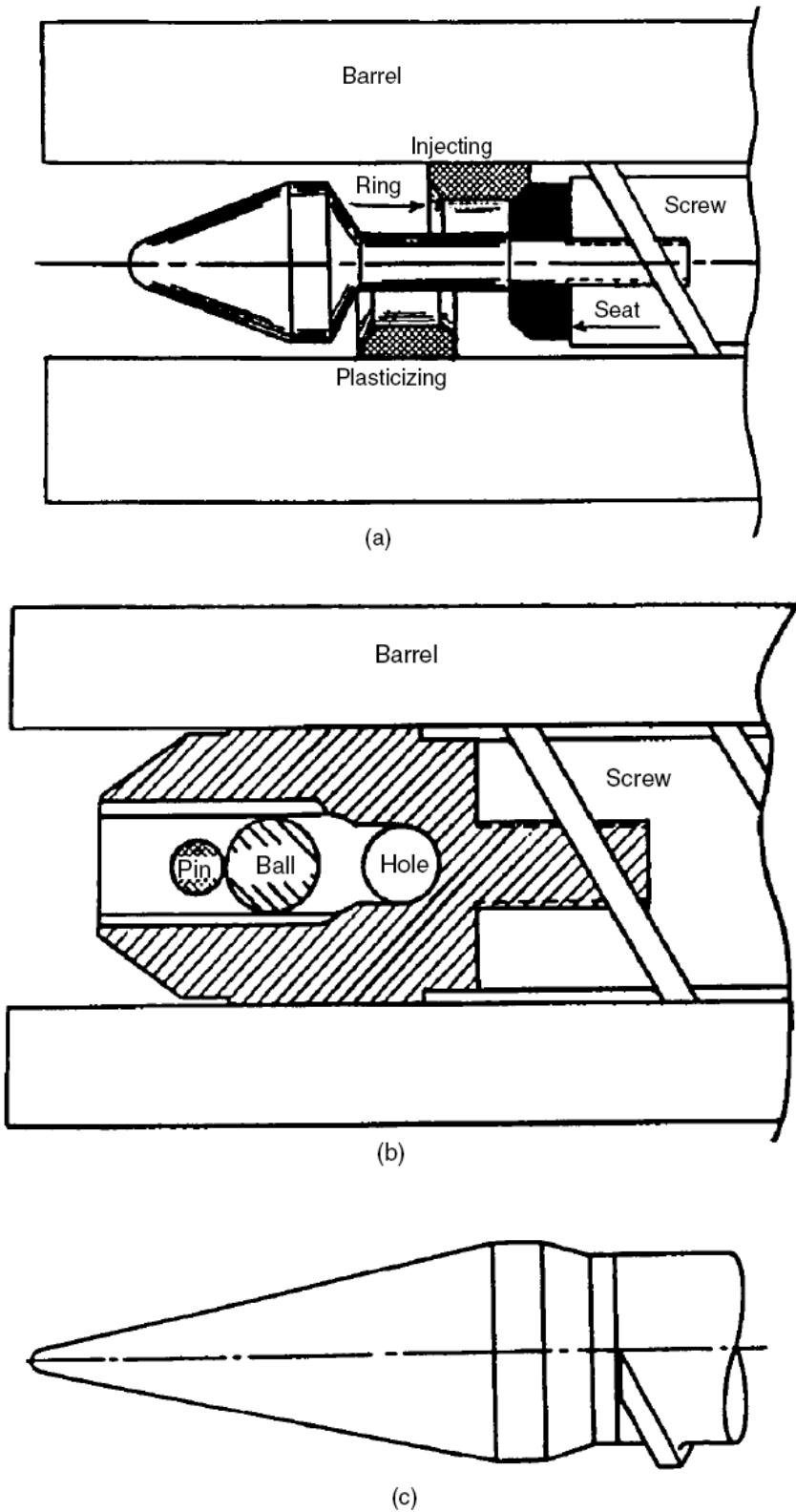


Figure 5.60 Nonreturn valves: (a) sliding ring,¹³⁵ (b) ball check valve,¹³⁶ and (c) smear tip.¹³⁸

Hình 5.60 là các dạng van một chiều (nonreturn valve). Van vòng trượt (sliding ring valve) được đẩy lên phía trước trong quá trình hoá dẻo, được

đẩy ngược trở lại khi quá trình phun bắt đầu. Loại van này tạo dòng chảy tốt, phù hợp với nhiều loại vật liệu, tổn thất áp suất nhỏ. Tuy nhiên quá trình chuyển động của van gây ra mài mòn, rò vật liệu đặc biệt khi sợi thủy tinh chèn vào vòng. Loại này sử dụng nhiều với loại vật liệu có độ nhớt cao, đúc phun có thoát khí.

Van bi, quả cầu bi được đẩy lên phía trước khi hoá dẻo nhựa, đẩy lui phía sau khi phun nhựa. Loại này dễ điều khiển lượng nhựa phun, nhưng dòng chảy bị hạn chế nhiều, áp suất tổn thất nhiều, gây mài mòn thành xylanh nhiều hơn loại vòng trượt. Sử dụng thích hợp với vật liệu có độ nhớt thấp, không phối trộn.

Khi không sử dụng van một chiều, đầu nhon bôi trơn được lắp vào cuối trục vít. Tuy không hạn chế dòng chảy nhưng để cho nhựa chảy ngược phía sau. Được sử dụng với vật liệu có độ nhớt cao, nhạy nhiệt như PVC cứng.

Đầu phun (nozzle) đưa nhựa vào khuôn đúc với tổn thất áp suất nhỏ nhất. Có 3 loại đầu phun:

Kênh hở (open chanel): không có van cơ khí đặt giữa thân máy và khuôn đúc, khoảng cách phun ngắn nhất, dòng nhựa nóng chảy không bị cản trở. Với nhựa có độ linh động lớn, đầu phun nhỏ hơn và to dần trước khi vào đậu rót.

Internally actuated shutoff nozzle: được giữ chặt bởi lò xo. Được mở ra do áp lực phun nhựa.

Externally actuated shutoff nozzle: hoạt động nhờ piston thủy lực.

Trục vít của đúc phun quay nhờ động cơ điện được nối với bộ giảm tốc. Động cơ truyền dẫn cho trục vít có thể đặt giữa piston thủy lực và trục vít.

Cụm phun có thể trượt trên rãnh. Để rửa sạch khi thay loại nhựa khác, hay loại các tạp chất bẩn trong máy. Vị trí của cụm phun có thể thay đổi phù hợp với vị trí của đậu rót với các loại khuôn và đầu phun khác nhau. Lực tiếp xúc của cụm phun ngăn nhựa rò rỉ ở tiếp xúc đầu phun và đậu rót. Bảng dưới đây, lực tiếp xúc tăng với kích thước của ngàm kẹp.

TABLE 5.12 Contact Force¹⁴¹

Clamp force, kN (tons)	Contact force, kN (tons)
500 (55)	50–60 (6–9)
1,000 (115)	60–90 (7–10)
5,000 (560)	170–220 (19–25)
10,000 (1,125)	220–280 (25–31)
15,000 (2,250)	250–350 (28–39)

Cụm phun được đặc trưng bởi: lượng nhựa phun (shot size), áp lực phun cực đại, khả năng hoá dẻo và tốc độ thu hồi, vận tốc phun cực đại . . . Shot size là khối lượng hay thể tích của nhựa có thể phun ra mỗi một lần phun. Kích thước của cụm phun được xác định qua lượng nhựa cực đại có thể cấp với một lần chuyển động lên phía trước của trục vít máy phun. Ở Mỹ, shot size được xác định (đơn vị ounce) theo nhựa polystyrene (general purpose polystyrene). Ở Châu Âu, dung lượng nhựa phun được xác định là thể tích (cm³) nhựa di chuyển với áp suất phun là 100Mpa.

Áp lực phun cực đại là áp suất lớn nhất có thể đạt được khi phun. Áp lực trên nhựa nóng chảy tăng vì đường kính trục vít thường nhỏ hơn đường kính của xylanh phun. Áp suất phun P_{inj} được tính như sau

$$P_{inj} = \frac{A_{hyd}}{A_{inj}} P_{hyd}$$

A_{hyd} diện tích của xylanh thuỷ lực, A_{inj} diện tích mặt cắt của trục vít, P_{hyd} áp suất thuỷ lực.

Dung lượng hoá dẻo và tốc độ thu hồi được áp dụng theo tiêu chuẩn của Hội Công nghiệp nhựa (The Society of the plastics Industry). Cả hai tiêu chí đều dựa trên kết quả thực nghiệm với nhựa Polystyrenen ở mức 50% dung tích cực đại. Dung tích hoá dẻo là lượng nhựa tạo ra tính theo kg/h, tốc độ thu hồi là thể tích đầu ra tính theo cm³/s. Vận tốc phun cực đại mm/s.

Cụm kẹp đỡ khuôn, giữ chặt khuôn khi phun, mở đóng khuôn phù hợp, hỗ trợ tháo sản phẩm, bảo vệ khuôn. Có 4 dạng kẹp: thủy lực (hydraulic), đòn khuỷ kích hoạt động bằng thủy lực (hydraulically actuated toggle), đòn khuỷ kích hoạt bằng điện và cơ-thủy lực. Hệ thống cụm kẹp được mô tả ở các hình dưới đây

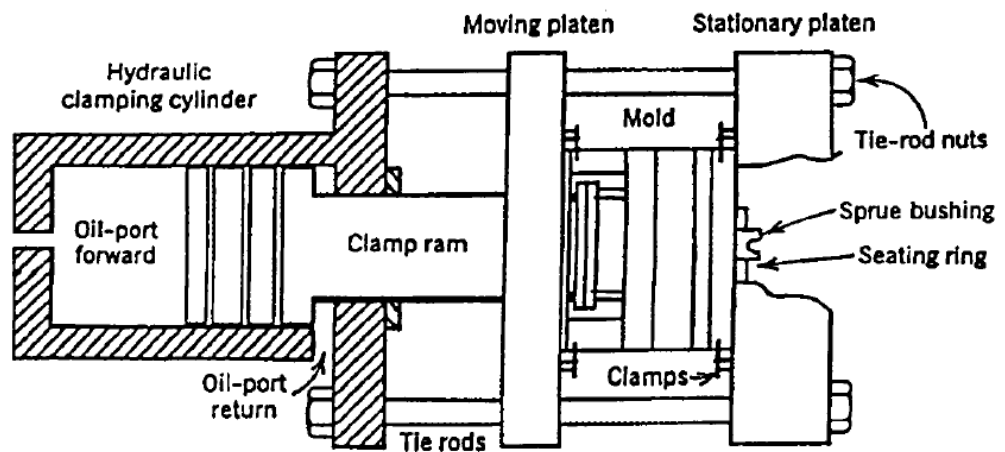


Figure 5.61 Hydraulic clamping unit.¹⁴⁴

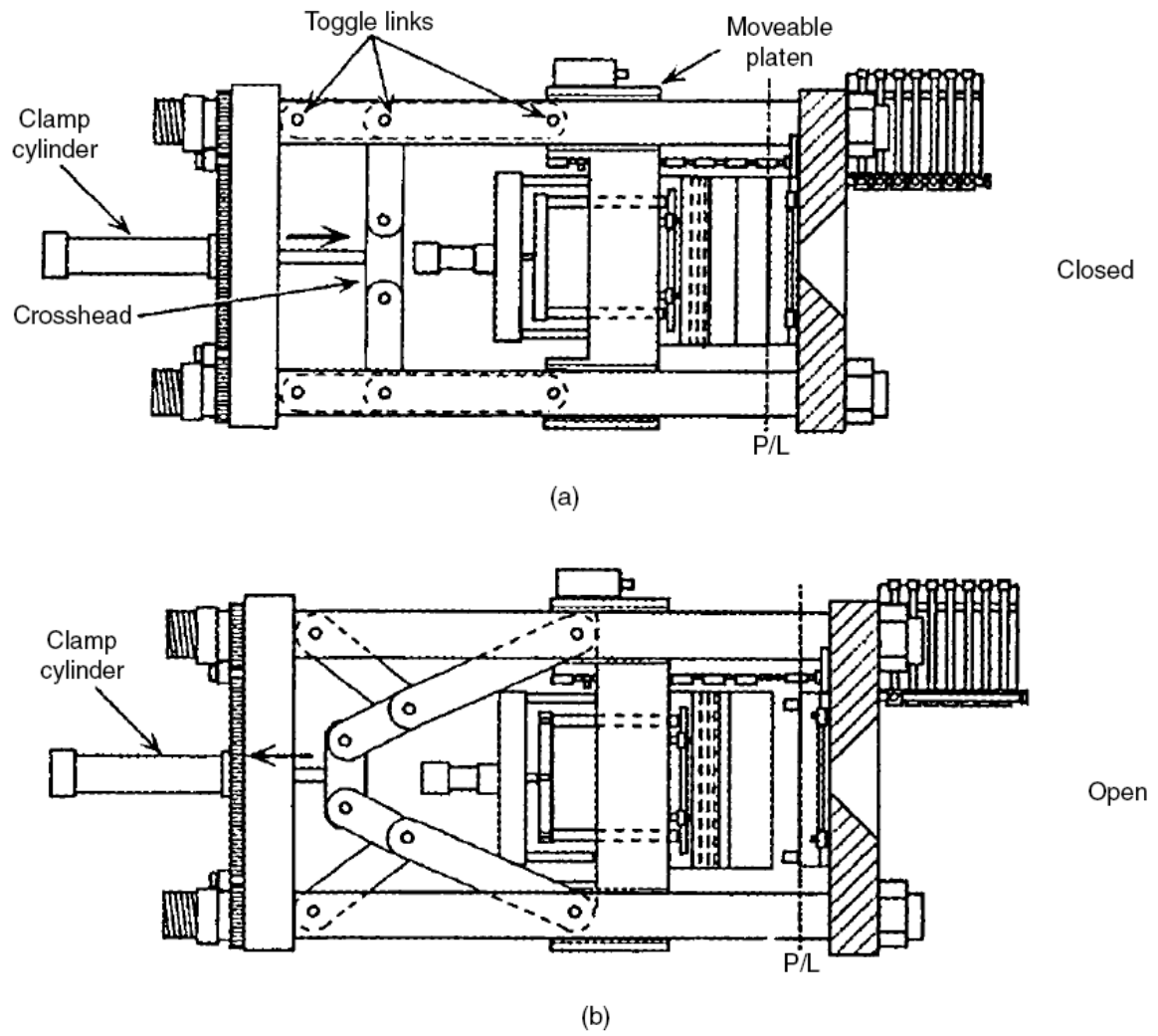


Figure 5.62 Toggle clamping unit¹⁴⁶: (a) closed and (b) open.

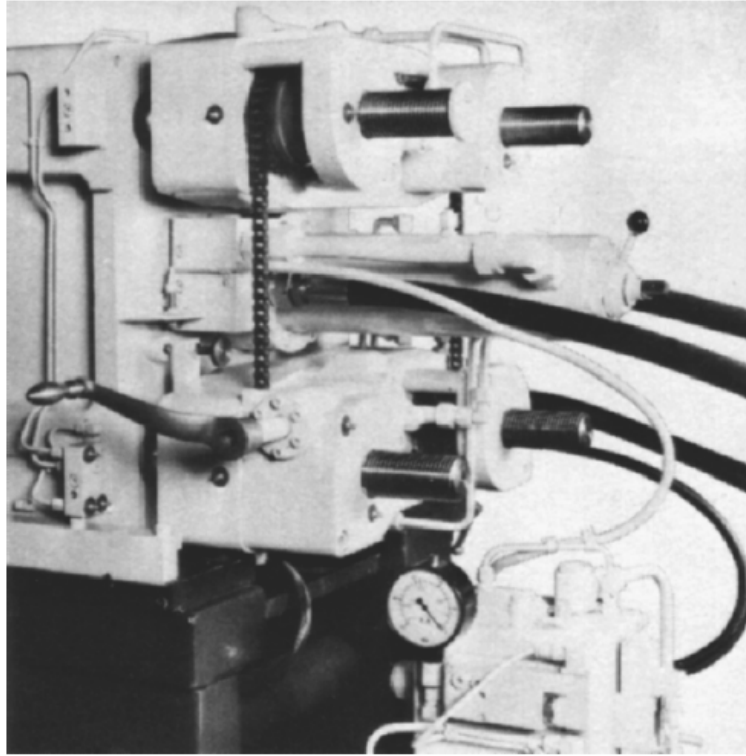


Figure 5.63 Clamp-adjusting ring gear.¹⁴⁸

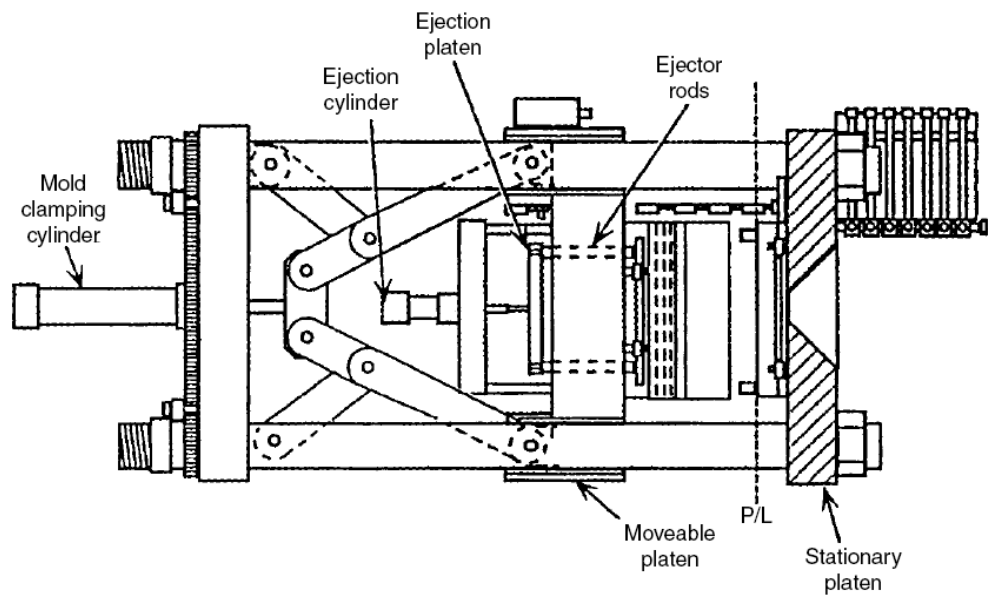


Figure 5.64 Ejection system.¹⁴⁹

Lực kẹp cực đại (maximum clamp force) là lực cần thiết giữ kín khuôn trong quá trình phun và điền đầy khuôn (packing). Nếu lực kẹp khuôn không

lớn hơn lực phun và lực điền đầy khuôn, khuôn sẽ bị hở, nhựa rò rỉ. Lực kẹp khuôn được tính: $F_c = f_n A$

F_n hệ số độ nhót hay áp suất thực nghiệm, A là diện tích phun (là diện tích mặt vuông góc với rãnh rót). Cách tính khác $F_c = P_{\max} \cdot A$; P_{\max} là áp suất khoang rỗng cực đại. Hay F_c tỷ lệ với L/H , với L là chiều dài của dòng chảy, H là chiều dày của sản phẩm.

Các đặc tính khác của cụm kẹp được mô tả dưới đây

TABLE 5.13 Clamping Pressure (MPa) for PE, PP, and PS¹⁵⁰

H, mm	L/H				
	200	150	125	100	50
1.0	—	69	62	50	31
1.5	83	59	41	31	21
2.0	62	41	31	26	17
2.5	48	31	24	21	17
3.0	34	28	21	21	17
3.5	31	24	21	21	17

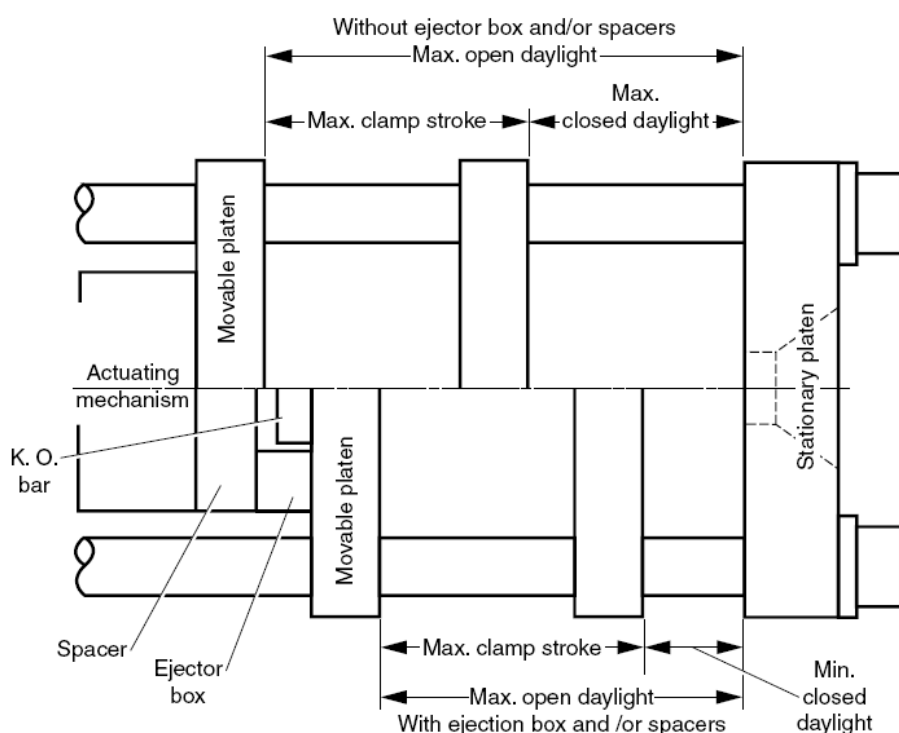


Figure 5.65 Specifications of a clamping unit.¹⁵¹

TABLE 5.14 Clamp Specifications¹⁵²

Specification	Metric	English
Clamp force	110 tons	120 tons
Clamp stroke	350 mm	13.78 in
Maximum daylight	825 mm	32.48 in
Maximum mold height	475 mm	18.70 in
Minimum mold height	150 mm	5.9 in
Platen size ($H \times V$)	670 \times 670 mm	26.38 \times 26.38 in
Distance between tie rods ($H \times V$)	435 \times 435 mm	17.13 \times 17.13 in
Tie-rod diameter	80 mm	3.15 in
Ejector stroke	120 mm	4.72 in
Ejector force	3.6 tons	3.96 tons

2. Khuôn

Khuôn phân bố nhựa nóng chảy, tạo hình dạng cho sản phẩm, làm lạnh, lấy sản phẩm ra. Chịu đựng được: lực phun, lực đẩy sản phẩm ra, chuyển động tịnh tiến, hướng chuyển động cho các bộ phận khác của khuôn.

Hình dưới đây là cấu tạo của khuôn hai nửa (two plate mold)

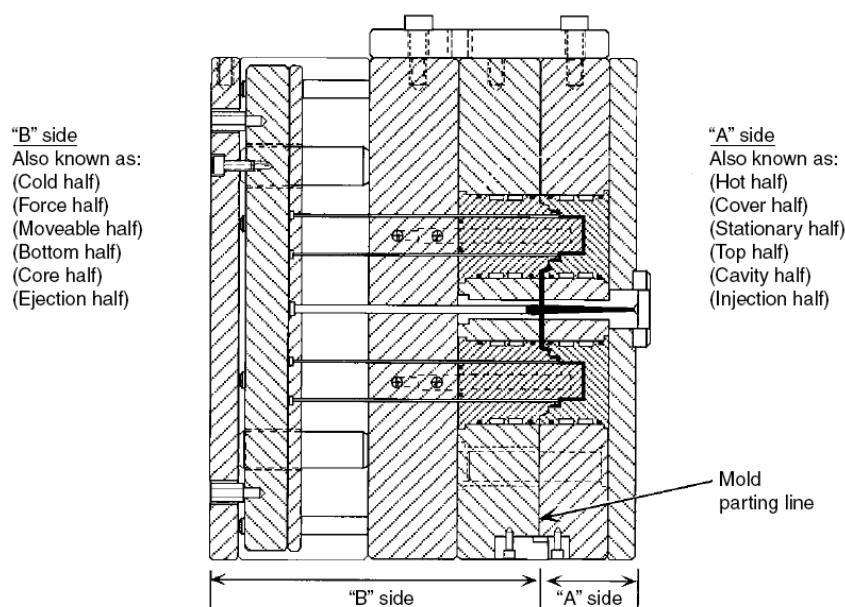
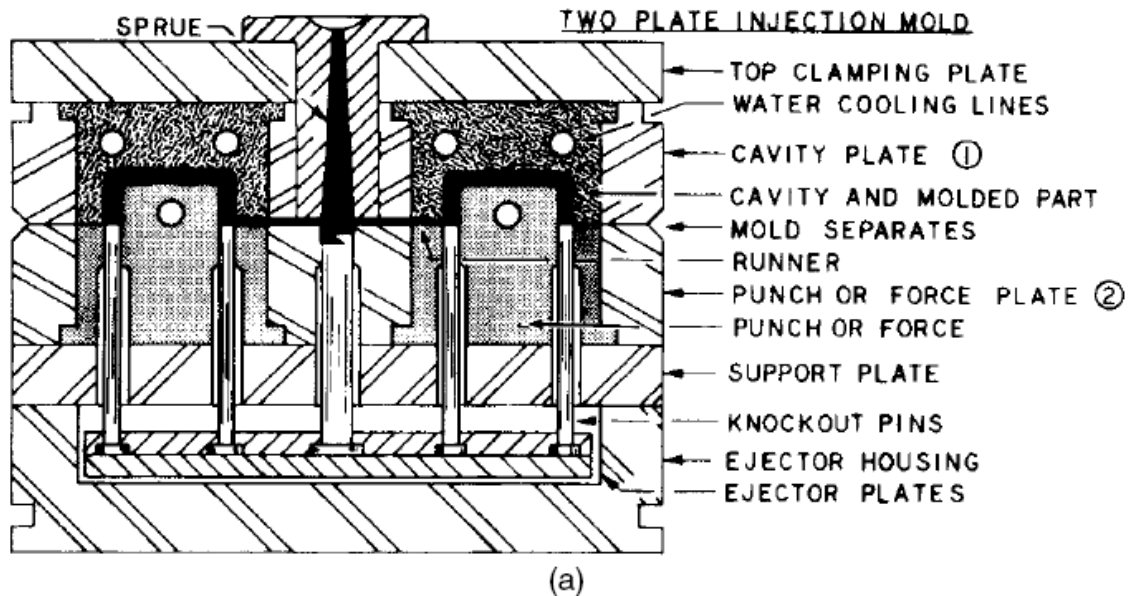


Figure 5.66 Standard mold base.¹⁵³

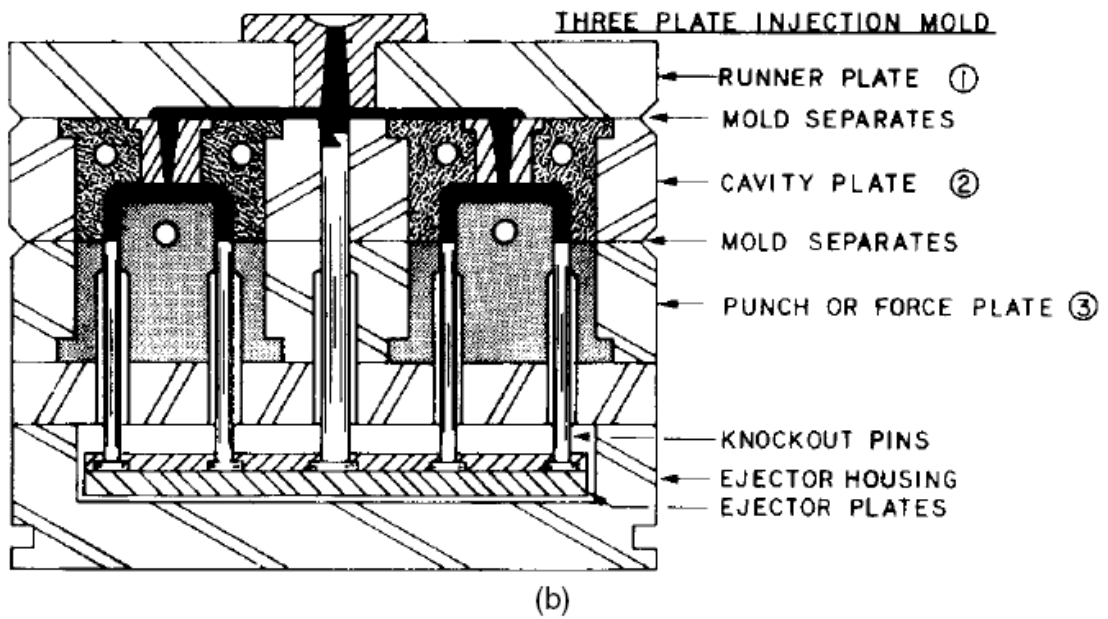
Phần A hay còn gọi phần tạo hốc của khuôn (cavity half of the mold), gồm cả tấm đỉnh của cụm kẹp, tấm hốc, đầu rót, vòng định vị, chốt dẫn. Phần B

hay còn gọi là phần lõi (core plate) gồm: tấm đỡ, tấm ép đáy, tấm lõi, ống lót định vị, hệ thống phun.



Khuôn mở ra theo một hướng, sản phẩm rơi ra do trọng lực. Rãnh rót, kênh dẫn nhựa (runner), và chi tiết dính liền nhau khi đẩy tháo sản phẩm. Loại này sử dụng đối với nhiều phương pháp đúc mà không có vết phòng lên hay hõm xuống khi tháo khuôn, sản phẩm có nhiều đặc tính tốt.

Khuôn đúc ba tấm (three plate mold) có hai đường phân chia. Các phần được đóng mở tự động. Không áp dụng được với tất cả các loại vật liệu, vật liệu giòn sẽ vỡ khi đẩy sản phẩm ra. Hạn chế khi chọn lựa cổng rót nhựa, nhiều phế phẩm.



Loại thứ 3 là khuôn xếp chồng (stacked injection mold) sử dụng khi đúc hai lớp của sản phẩm mà không cần tăng lực ép. Loại này có độ sai số chỉ như loại khuôn hai tấm.

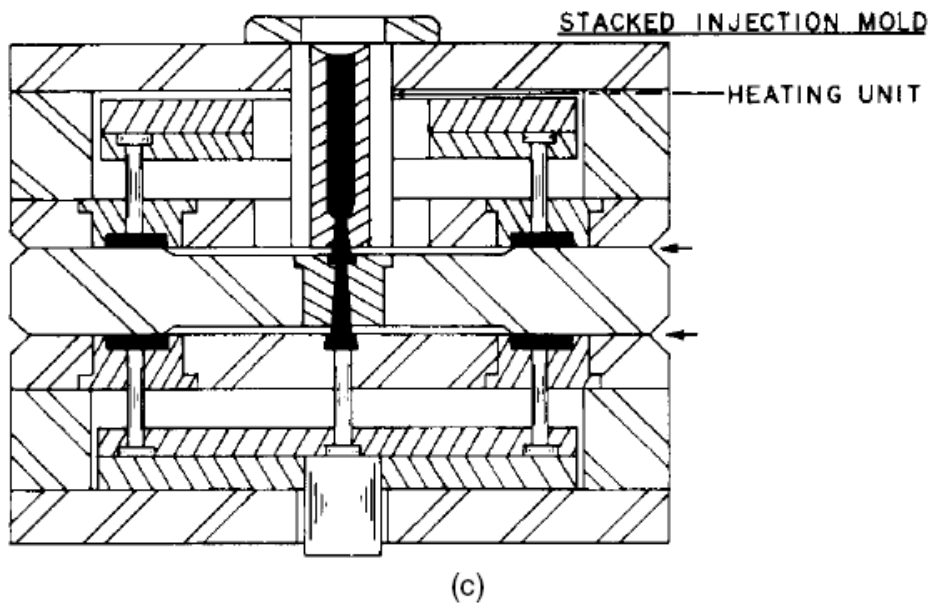
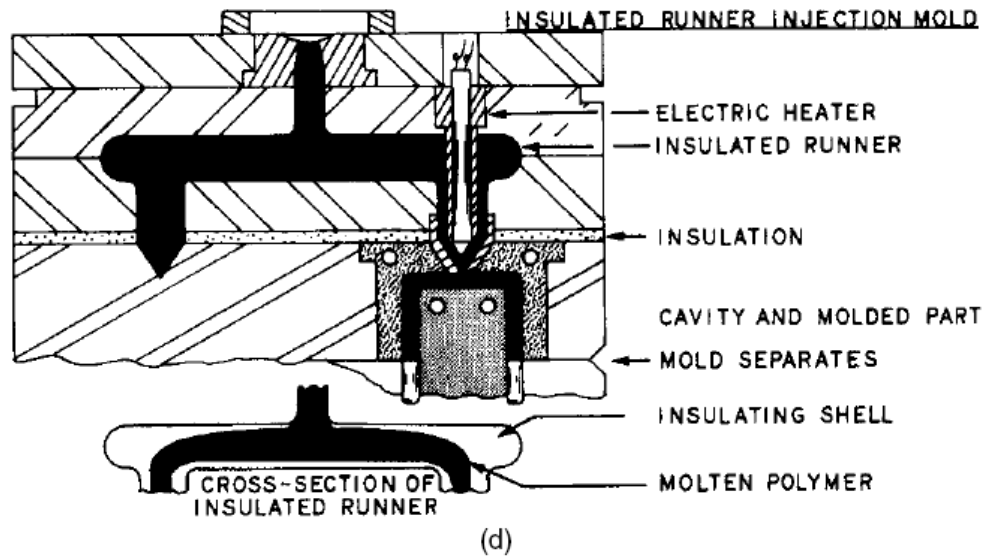


Figure 5.67 Molds: (a) two plate, (b) three plate, (c) stack. (d) insulated runner, and (e) hot runner.¹⁵⁴

Hệ thống khuôn cũng có thể phân loại dựa vào hệ thống kênh dẫn nhựa (runner). Với khuôn có kênh dẫn nguội (cold runner mold), rãnh rót và kênh bị đóng rắn, bị loại bỏ khi tháo sản phẩm. Mất mát nhiều nguyên liệu.

Kênh dẫn ngầm (insulated runner) có đường kính lớn hơn so với kênh chuẩn.



Do vậy, phần nhựa phía ngoài kênh thì đông rắn trong khi đó phía trong tâm vẫn còn dạng lỏng. Điều này giảm tiêu hao nguyên liệu, dễ thay đổi loại nhựa và màu sắc. Kênh cần phải làm đông cứng trước khi tháo khuôn. Tháo khuôn rất khó khăn vì các cổng gần như bị nhựa đông cứng.

Loại kênh dẫn có đốt nóng (hot runner mold), kênh dẫn luôn ở trạng thái nóng chảy. Cấu tạo này giảm phế liệu nhưng vận hành khó hơn. Vì yêu cầu phải sử dụng thép tốt hơn, tấm cách và hệ thống điều khiển nên chi phí cao hơn khoảng 25% so với loại kênh nguội.

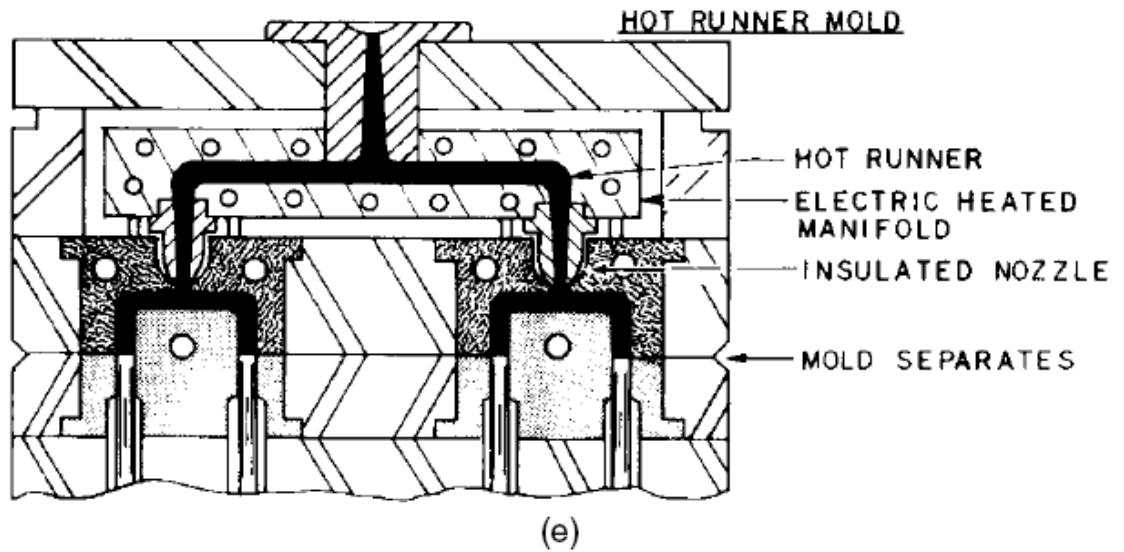


Figure 5.67 (Continued)

Cả hai loại khuôn này có hạn chế nhất định đối với một vài loại nhựa. Loại kênh nóng, gặp khó khăn thay đổi màu. Khuôn đúc còn có thể phân loại dựa vào số lượng khoang đúc (cavity) trong khuôn. Với khuôn gia đình (family mold), nhiều phần của sản phẩm được đúc đồng thời

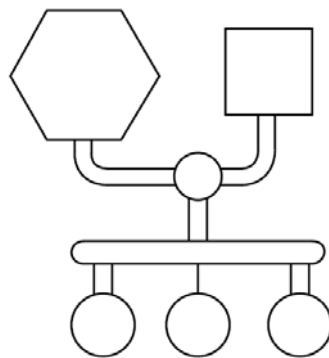


Figure 5.68 Family mold.¹⁵⁵

Các phần cơ bản của khuôn đúc được mô tả ở hình dưới đây.

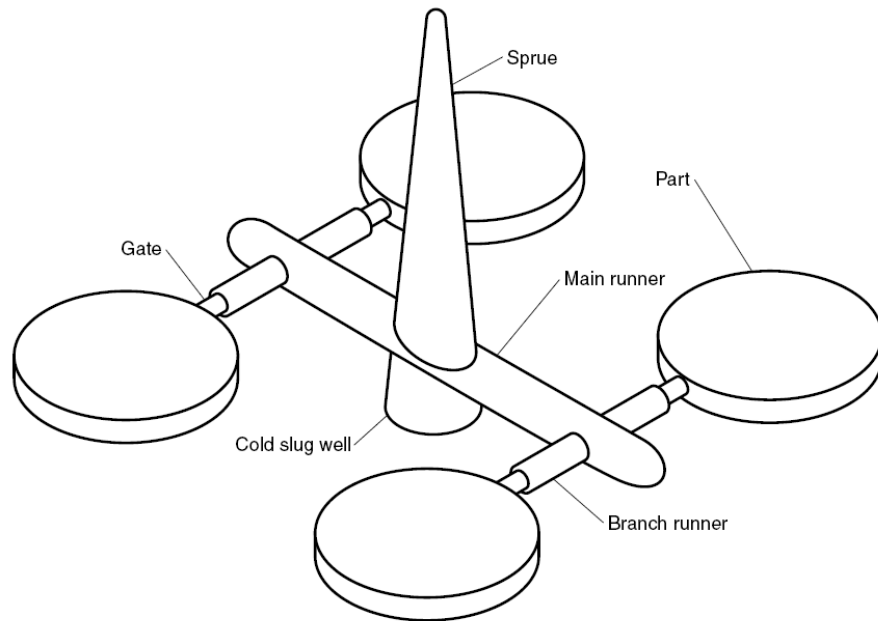


Figure 5.69 Sprue, runners, gates, and cavities.¹⁵⁶

Rãnh rót nhận nhựa từ đầu phun, phân chia và các kênh nhựa (runner). Chiều dài của các kênh phải nhỏ nhất, áp suất rơi và nhiệt độ nhỏ nhất từ rãnh rót đến khoang (cavity) đúc. Kênh nhựa có nhiều hình dạng nhưng loại tiết diện tròn là hiệu quả nhất (loại này chi phí chế tạo cao). Đường kính của kênh nhựa xác định

$$D_{\text{branch}} = n^{1/3} \cdot D$$

với D là đường kính của kênh nhựa, D_{branch} đường kính của nhánh ngược dòng. Nhựa được phân phối đồng thời vào các khoang đúc.

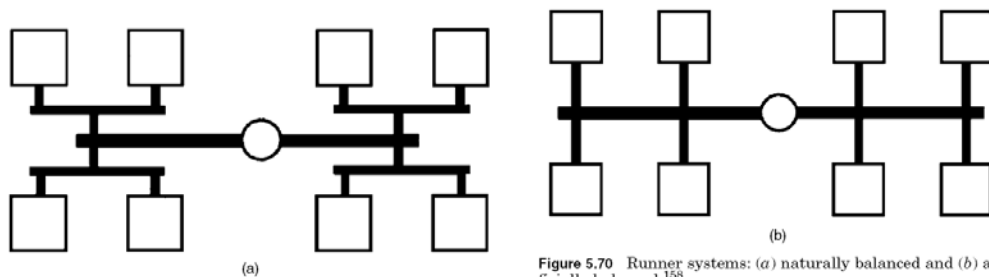


Figure 5.70 Runner systems: (a) naturally balanced and (b) artificially balanced.¹⁵⁸

Hình dưới là các cửa nối từ kênh nhựa đến các khoang đúc.

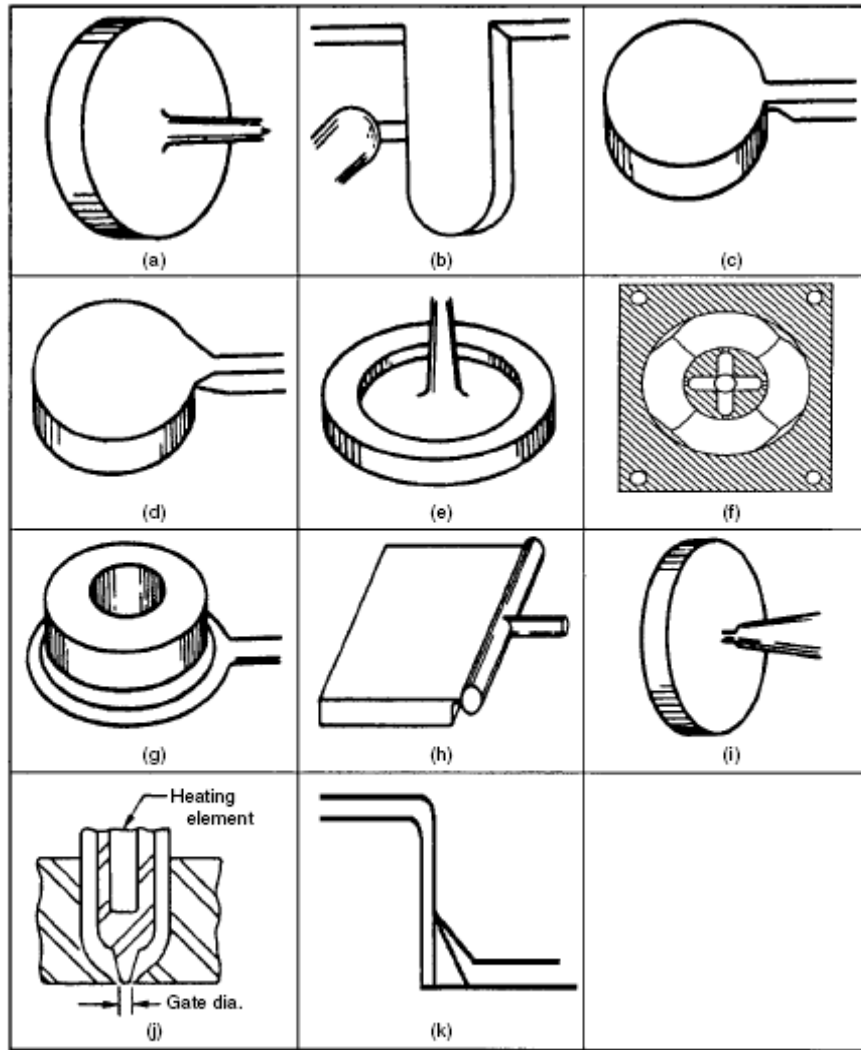


Figure 5.71 Gates: (a) sprue,¹⁵⁹ (b) tab,¹⁵⁹ (c) edge,¹⁵⁹ (d) fan,¹⁵⁹ (e) disk,¹⁵⁹ (f) spoke,¹⁶¹ (g) ring,¹⁵⁹ (h) film,¹⁵⁹ (i) pin,¹⁵⁹ (j) hot probe,¹⁶² and (k) submarine.¹⁶³

3. Quá trình đúc phun

Quá trình đúc phun gồm nhiều bước: đóng khuôn, phun, điền đầy khoang đúc, lưu, làm lạnh, hoá dẻo (plastication), mở khuôn, lấy sản phẩm.

Máy đúc phun hoạt động ở dạng: thao tác bằng tay, bán tự động, tự động.

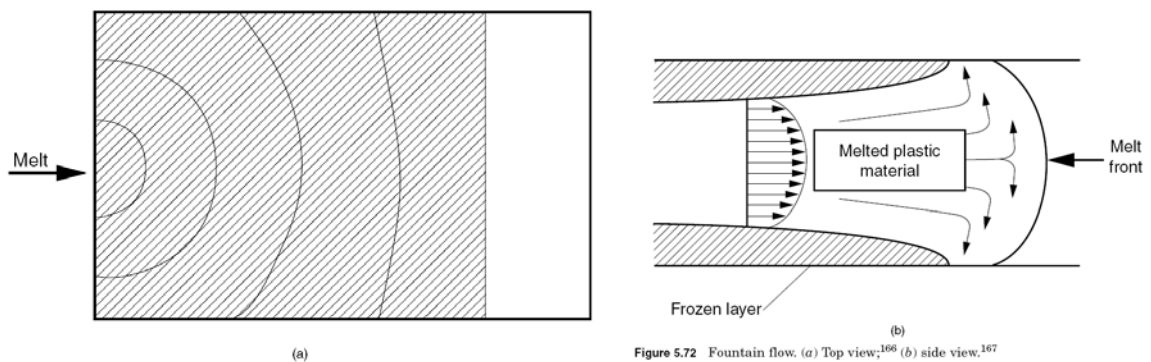
Khi đầu phun và rãnh rót tiếp xúc nhau, giai đoạn phun bắt đầu. Trục vít chuyển động tịnh tiến, đẩy nhựa vào khuôn qua đầu phun. Khoang đúc được điền đầy nhựa. Điểm cuối của giai đoạn này được xác định bằng thời gian, vị trí piston hoặc áp suất.

Giai đoạn packing: dòng nhựa thêm vào để bù sự co ngót của nhựa khi gặp khuôn lạnh.

Giai đoạn lưu: khi điền đầy kết thúc, tạo áp suất cho đến khi đông rắn công khuôn. Giai đoạn điền đầy và lưu, nhựa nóng chảy chuyển động được xác định bằng độ nhớt và áp lực tác động lên pittong. Thời gian lưu được kiểm tra.

Giai đoạn làm lạnh và dẻo hoá: Thời gian của giai đoạn làm lạnh được kiểm soát. Trong khi làm lạnh, trục vít quay và nhựa được dồn lại, chờ cho lần đúc phun sau. Vì quá trình hoá dẻo cần thực hiện ngay trước khi kết thúc giai đoạn làm lạnh, trục vít cần một thời gian trễ nhất định (do vậy trục vít không cần phải quay chậm lại). Nhựa nóng chảy được khuấy đảo thêm nhờ áp suất ngược. Khi đủ lượng nhựa cho lần kế tiếp, trục vít chuyển động ngược trở lại (gọi là giảm áp hay hút ngược), làm giảm áp suất trong nhựa nóng chảy, tránh được sự rò rỉ nhựa. Khi làm lạnh kết thúc, đầu kẹp mở ra, sản phẩm tháo ra.

Các thông số của quá trình: lượng nhựa phun (shot size), tốc độ phun, áp suất phun, thời gian phun và các tham số của quá trình điền đầy khoang, lưu.



Nhựa có độ nhớt cao nên chảy vào khuôn có dạng vòi phun nước. Dòng nhựa nóng chảy chảy vào khoang đúc theo các sóng cơ học. Lớp nhựa đầu tiên bị đông rắn ở thành. Dòng nhựa sau có nhiệt độ cao hơn tiếp tục chảy vào khoang đúc. Chiều dày của lớp đông rắn thay đổi theo nhiệt độ nóng chảy, nhiệt độ khuôn, tốc độ hay thời gian phun.