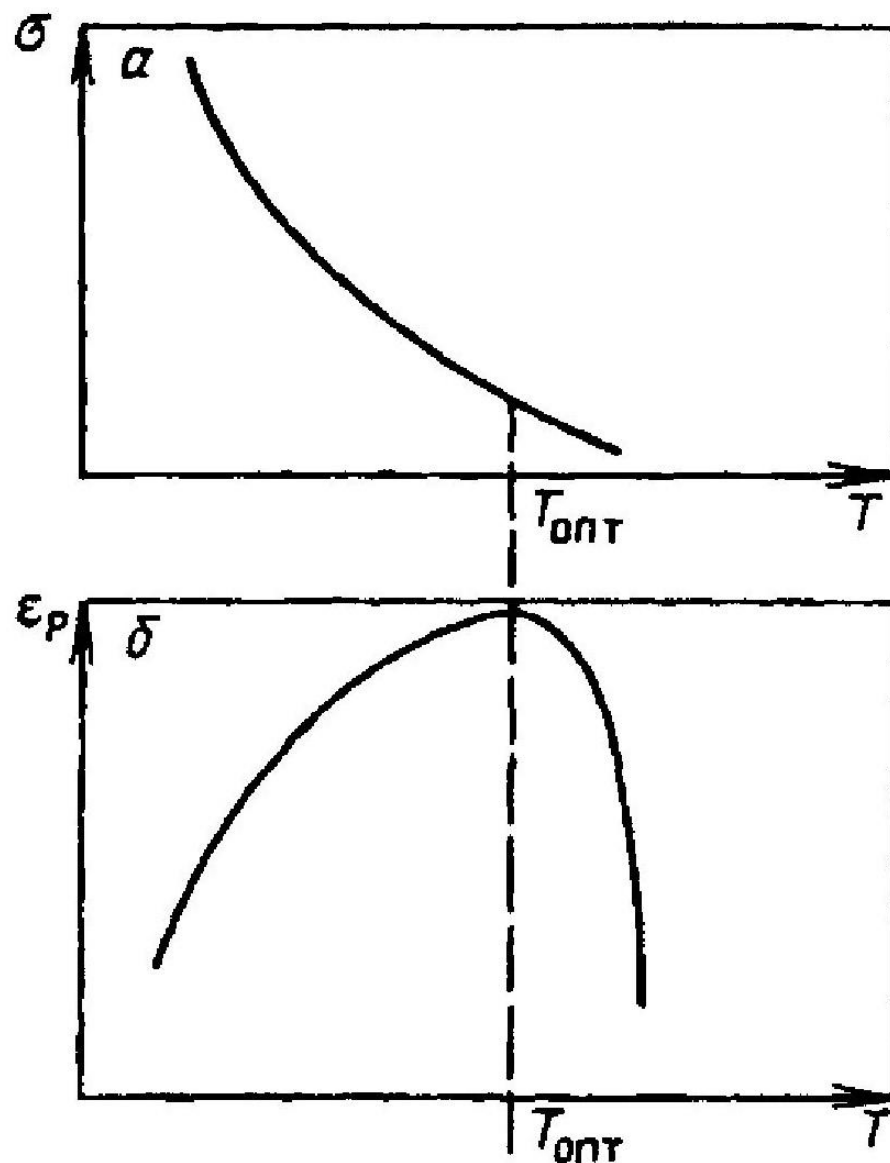


пневмоформование (непосредственно сжатым воздухом, свободным выдуванием, с применением пуансона, формование с креплением заготовки по контуру);

вакуум-формование — негативное (в матрице, на пуансоне; свободное; с обжатием и охлаждением на пуансоне); позитивное (с предварительной механической вытяжкой; с применением толкателя; с предварительной вытяжкой сжатым воздухом; на воздушной подушке);

комбинированное пневмо- и вакуум-формование (использование гидропресса с одновременным применением вакуума и сжатого воздуха).



Зависимость напряжения вытяжки σ (а), предельной разрывной деформации ϵ_p (б) от температуры для аморфного термопластичного листа ($T_{\text{опт}}$ — оптимальная температура)

*Рекомендуемые температуры заготовки-листа и формы
для формования различных термопластов*

Термопласт	Температура, °С	
	заготовки-листа	формы (максимальная)
ПЭВП	120—135	50—70
ПЭНП	90—135	50—70
ПСУ	115—150	50—65
ПП	150—190	50—80
ПММА	120—200	40—60
Винипласт	90—160	30—50

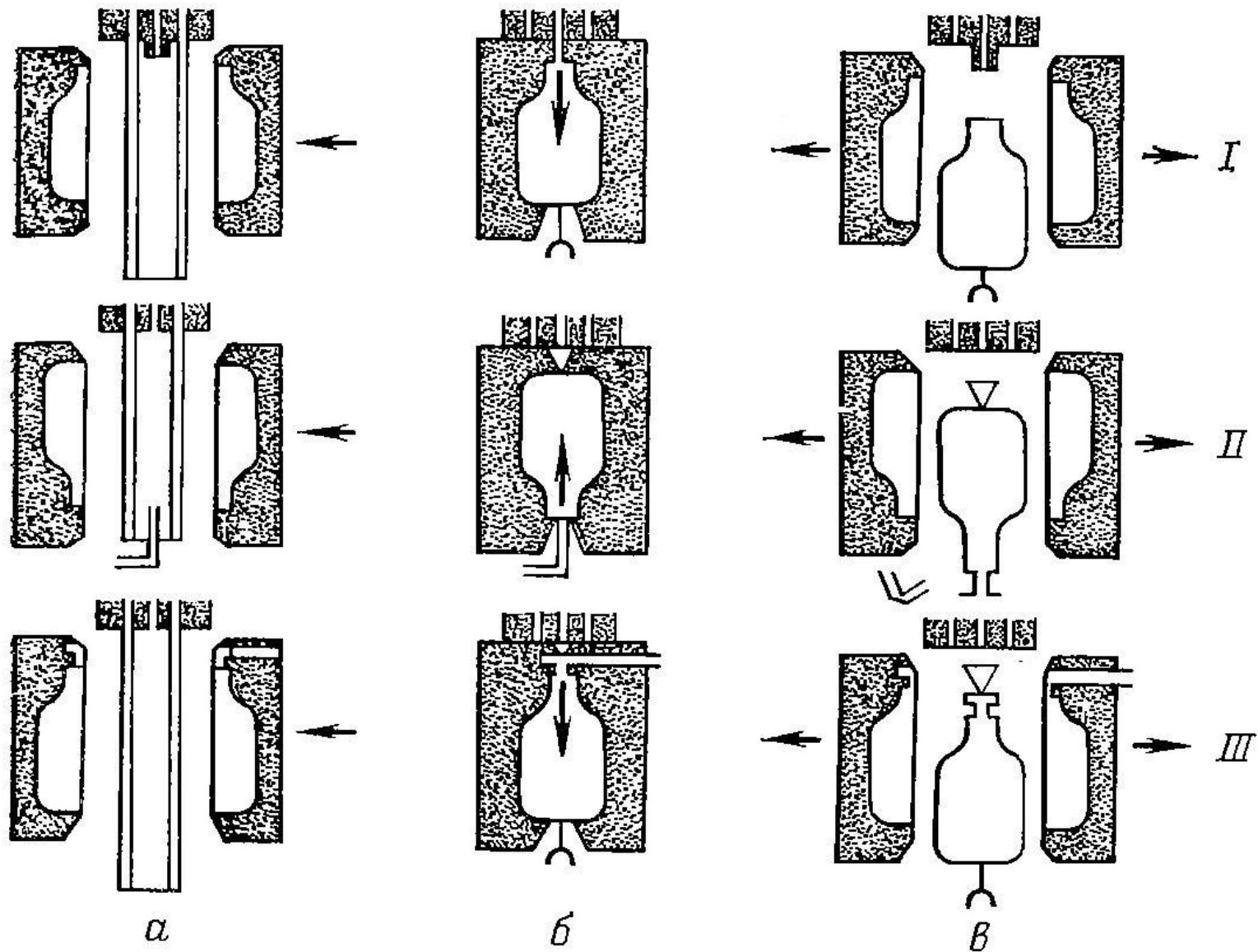


Схема формования полых изделий методом раздува:

а — экструзия заготовки; *б* — раздув; *в* — выгрузка готового изделия; *I* — подача воздуха сверху; *II* — подача воздуха снизу; *III* — подача воздуха через дутьевую иглу

Форма предназначена как для оформления изделия, так и для зажима и герметизации стыка заготовки, калибрования горловины изделия, управления подачей воздуха при раздуве, заваривания проколото́го дутьевой иглой отверстия, удаления облоя и охлаждения сформованного изделия. Сжатый воздух для раздува заготовки может подаваться по каналу, проходящему через формующую горловину ниппель, или при помощи дутьевой иглы. Дутьевая игла обычно прокалывает заготовку по центру или сбоку, причем в последнем случае предпочтительно располагать иглу в плоскости разъема формы.

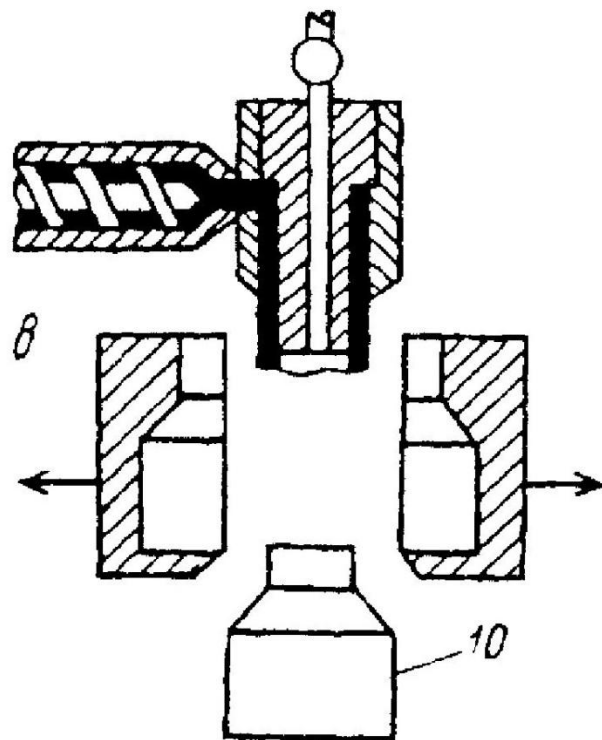
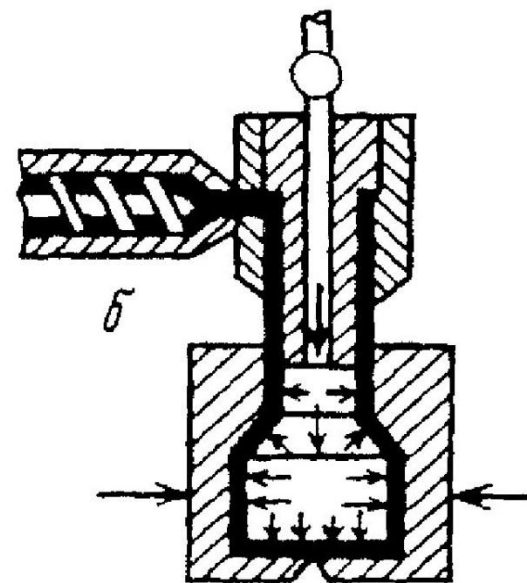
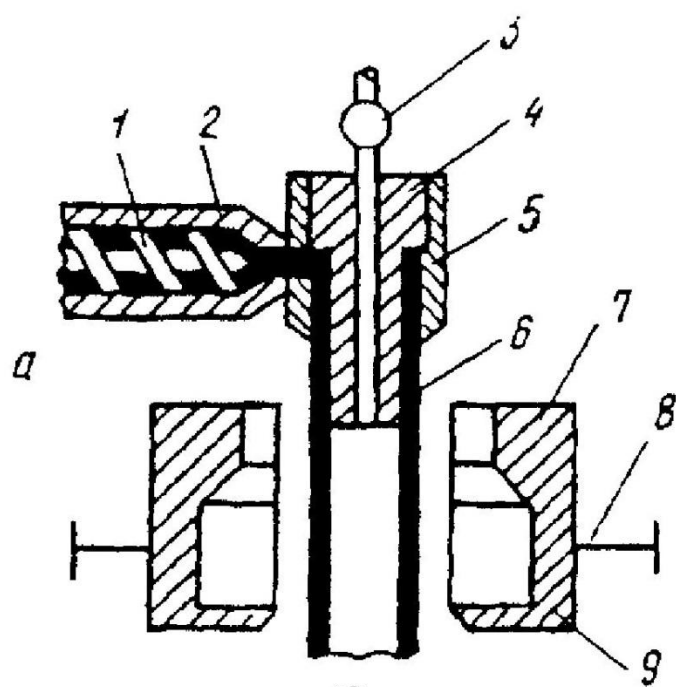
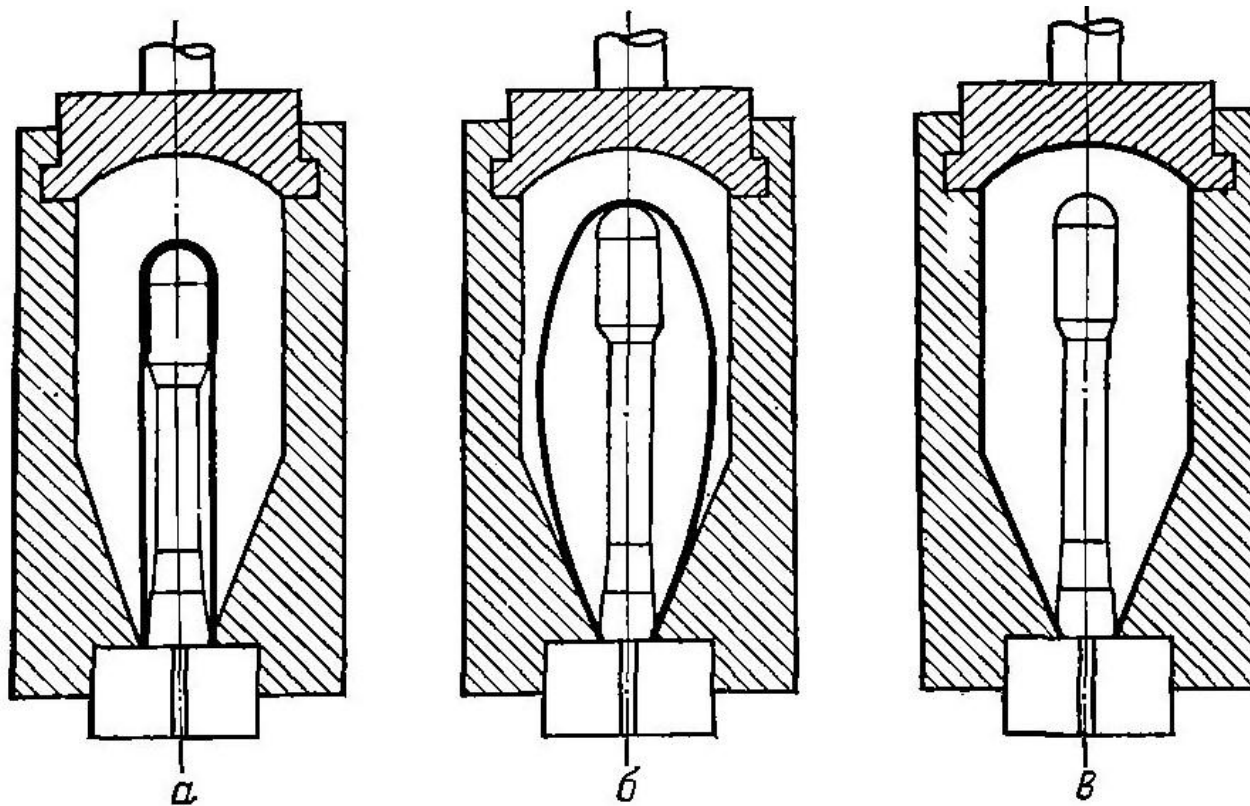


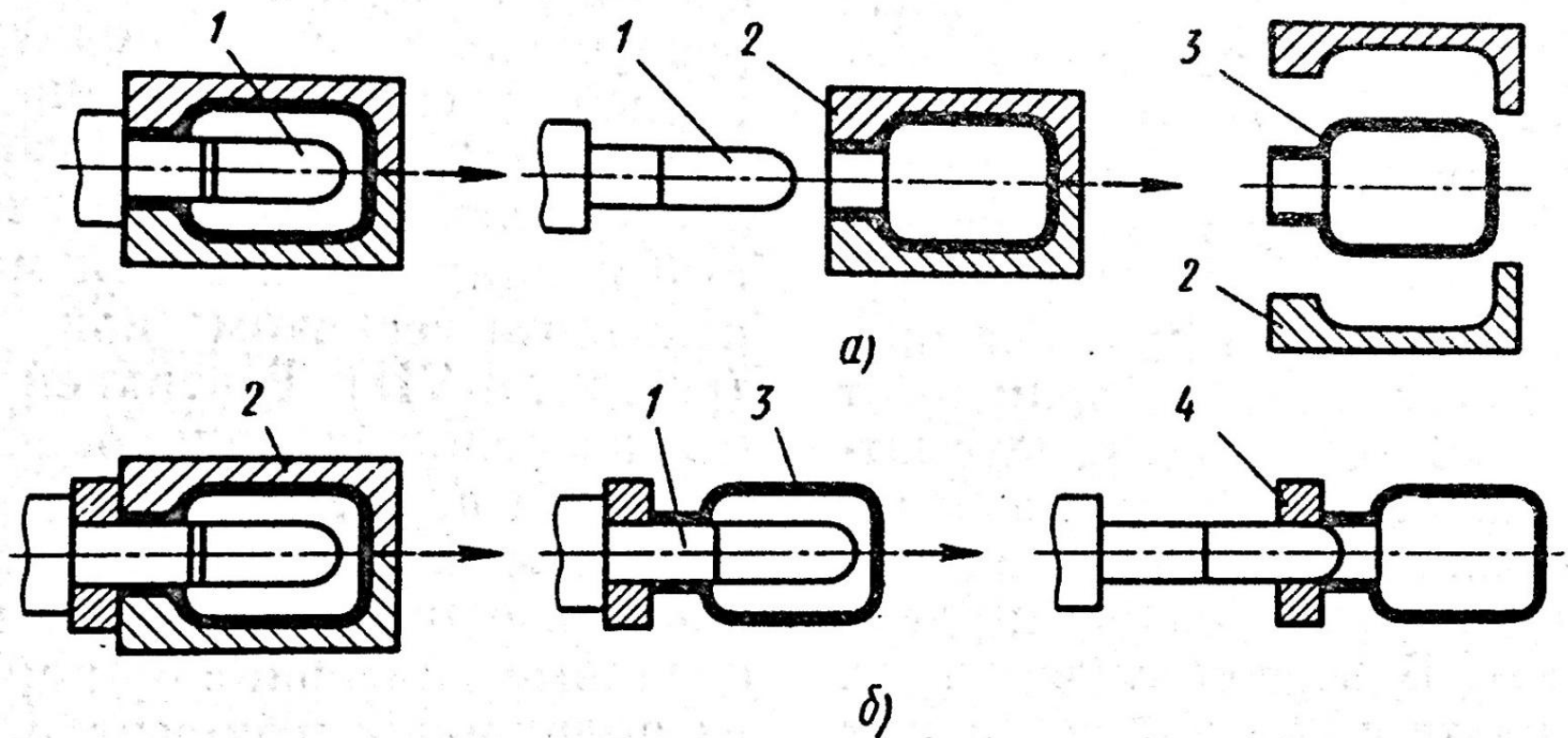
Схема производства полых изделий экструзионно-выдувным формованием трубчатой заготовки из термопластов:

а — экструзия трубчатой заготовки; *б* — раздув заготовки и формование изделия; *в* — съем изделия (каналы в форме для выхода вытесняемого раздуваемой заготовкой воздуха не показаны);

1 — шнек; 2 — цилиндр экструдера; 3 — кран для подачи сжатого воздуха для формования; 4 — дорн; 5 — мундштук формующей головки экструдера; 6 — трубчатая заготовка расплава полимера; 7 — полуформа; 8 — привод смыкания и размыкания полуформ; 9 — пресс-конт; 10 — изделие



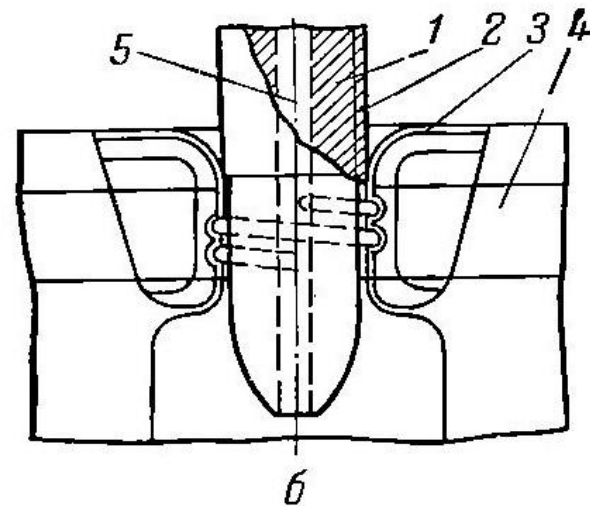
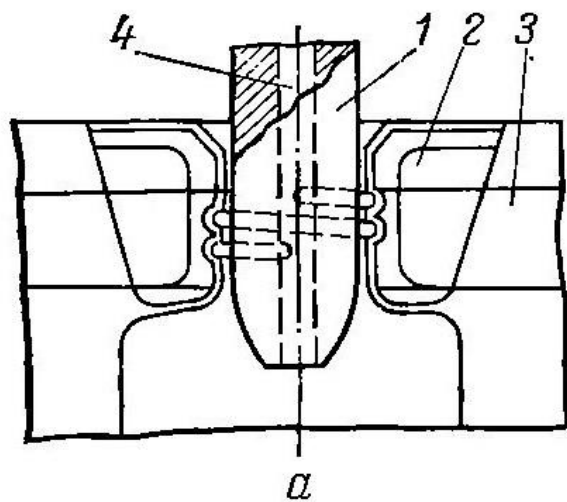
Производство ориентированных бутылок методом раздува с предварительной вытяжкой



Устройства для съема полых изделий с инжекционного дорна:

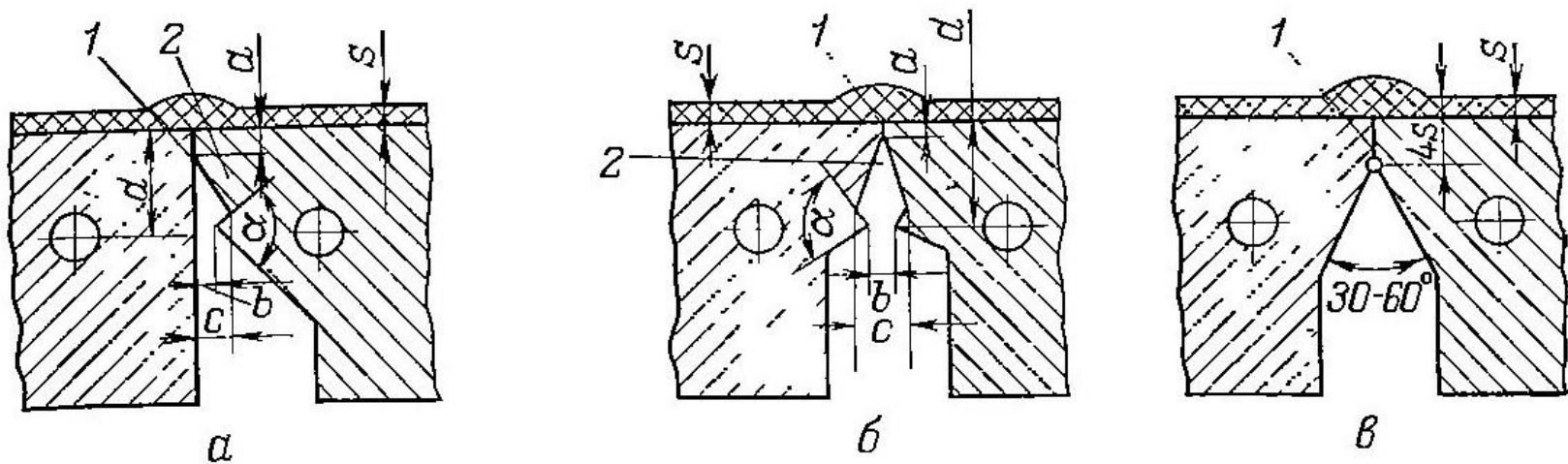
а — с извлеченком дорна из выдувной формы;

б — со съемником для сталкивания изделия с дорна



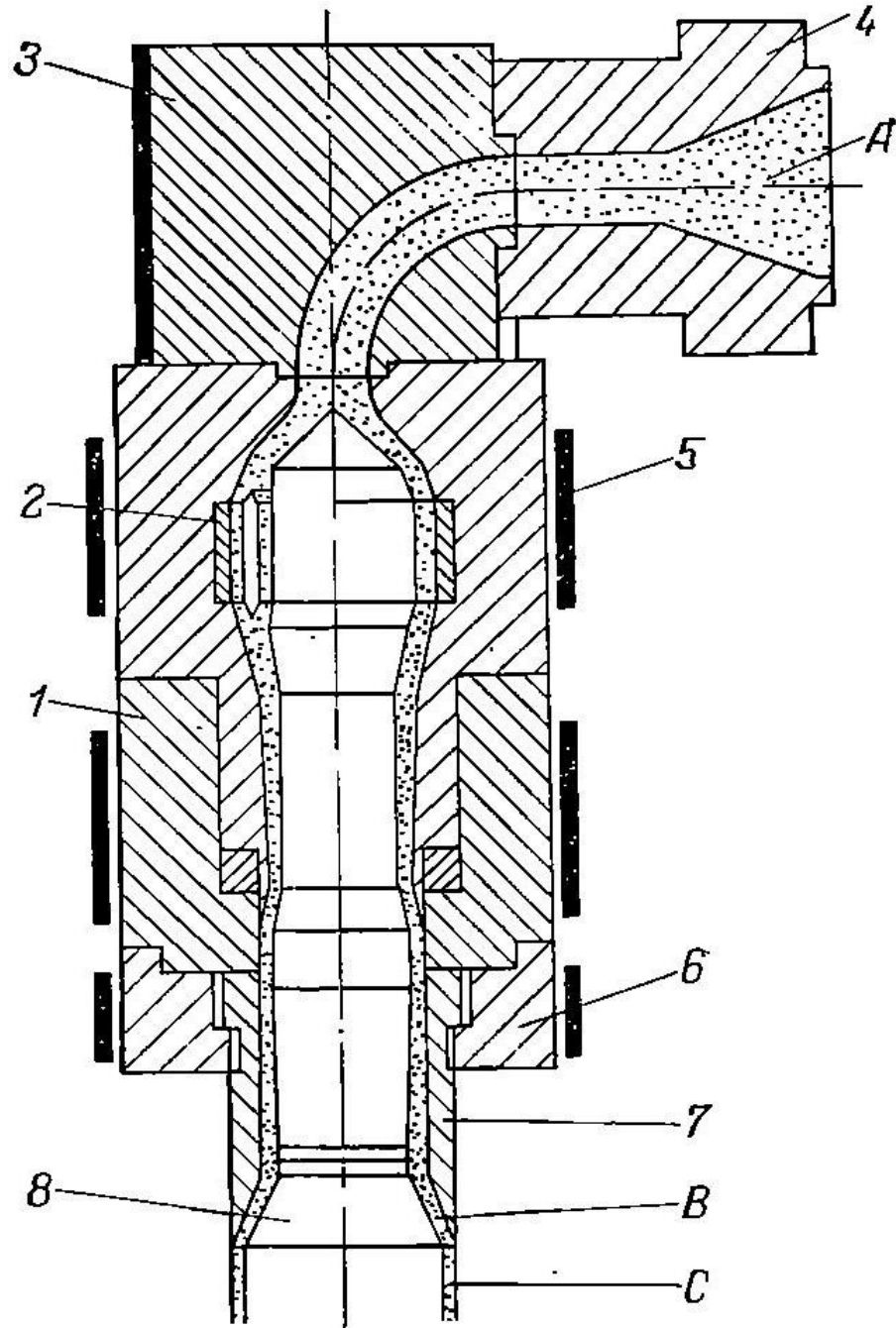
Различные методы калибровки горловины:

a — с помощью цилиндрического ниппеля (1 — сменный ниппель; 2 — пресс-кант; 3 — резьбовой вкладыш; 4 — воздушный канал); *б* — с помощью ступенчатого ниппеля (1 — ступенчатый ниппель; 2 — обрезающее кольцо; 3 — пресс-кант; 4 — резьбовой вкладыш; 5 — воздушный канал)

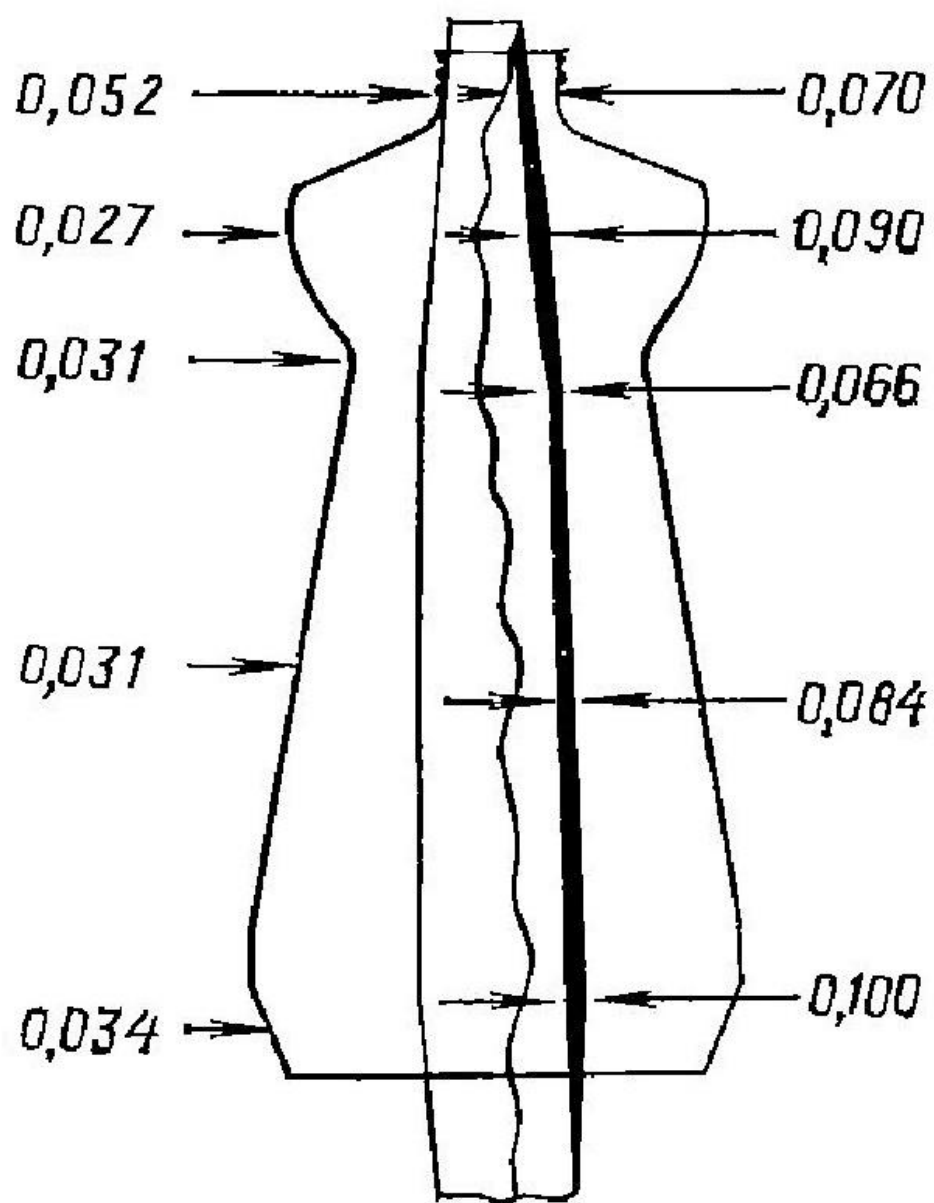


Конструкция и размеры пресс-канта:

a — с односторонним карманом; *b* — с двухсторонним карманом; *v* — без кармана; $a = (0,5 : 1,0)s$; $b = s$; $c = (1,5 \div 3)s$; $d = (12 \div 18)s$; $\alpha = 60 - 90^\circ$; s — толщина стенки изделия.



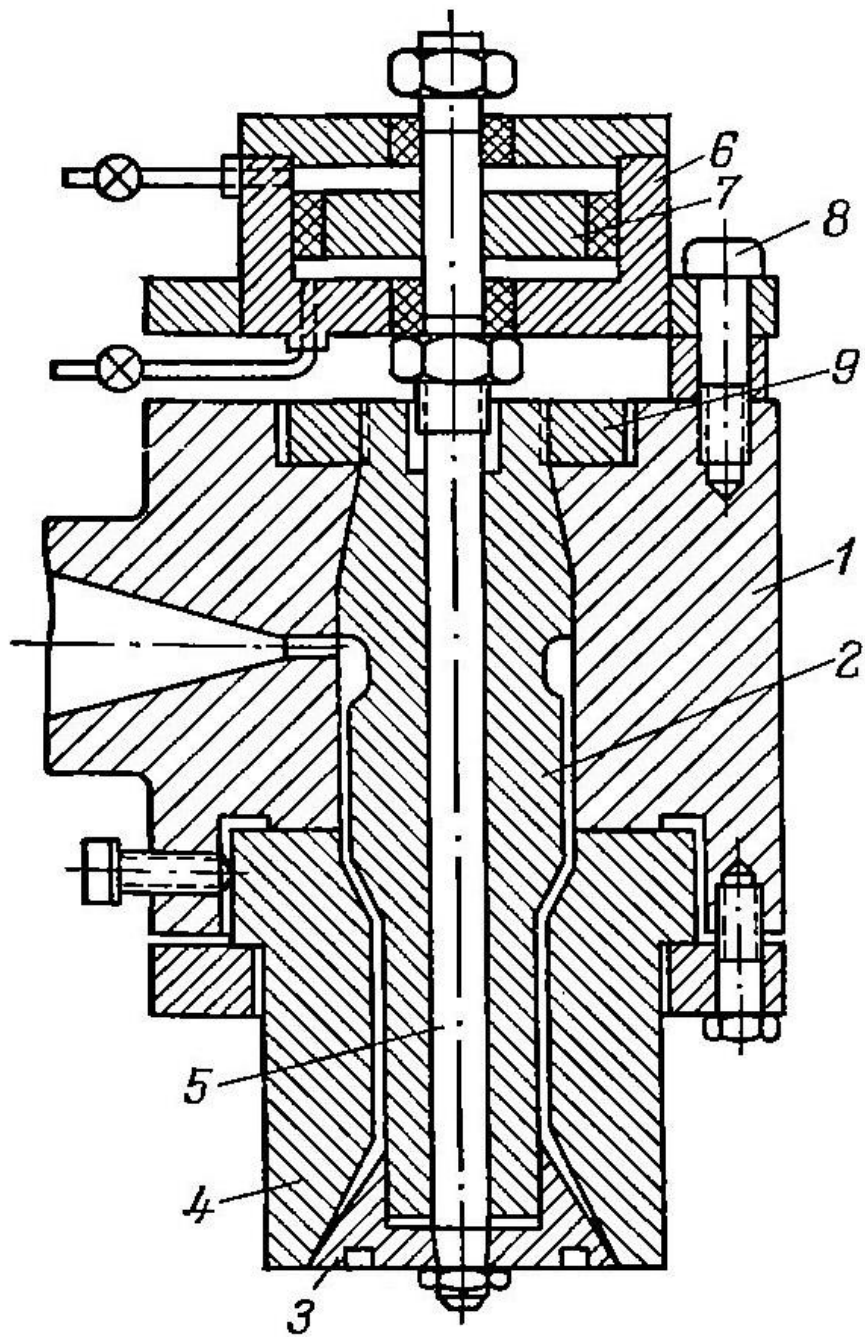
Прямоточная головка



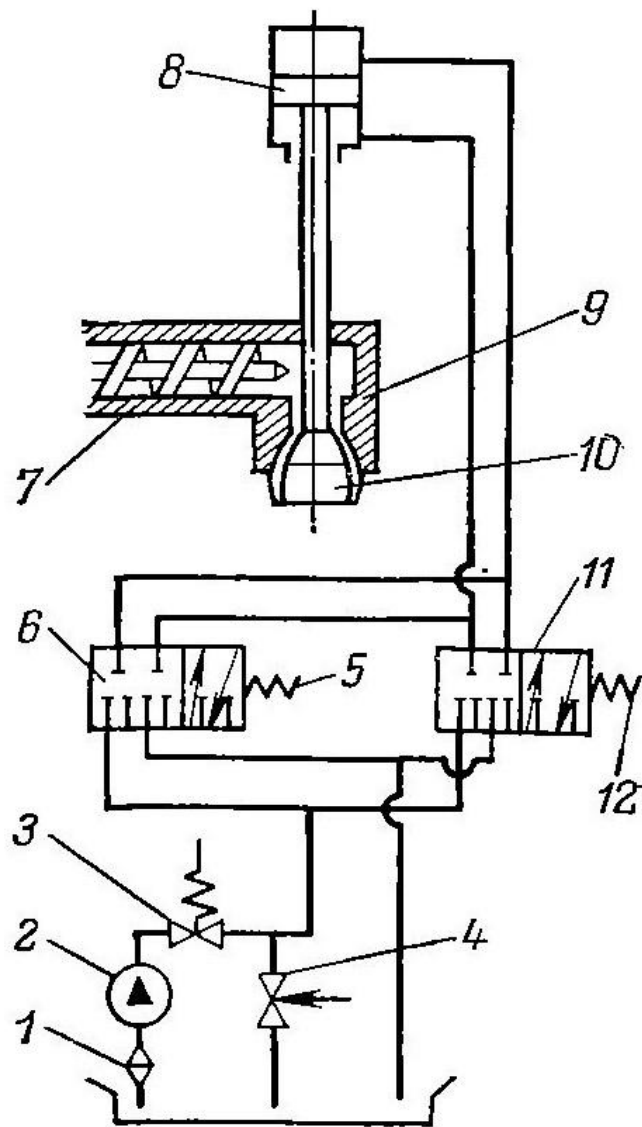
Заготовка с программным изменением толщины стенок.

Числа - значения толщины стенок заготовки

(справа) и изделия (слева) в мм

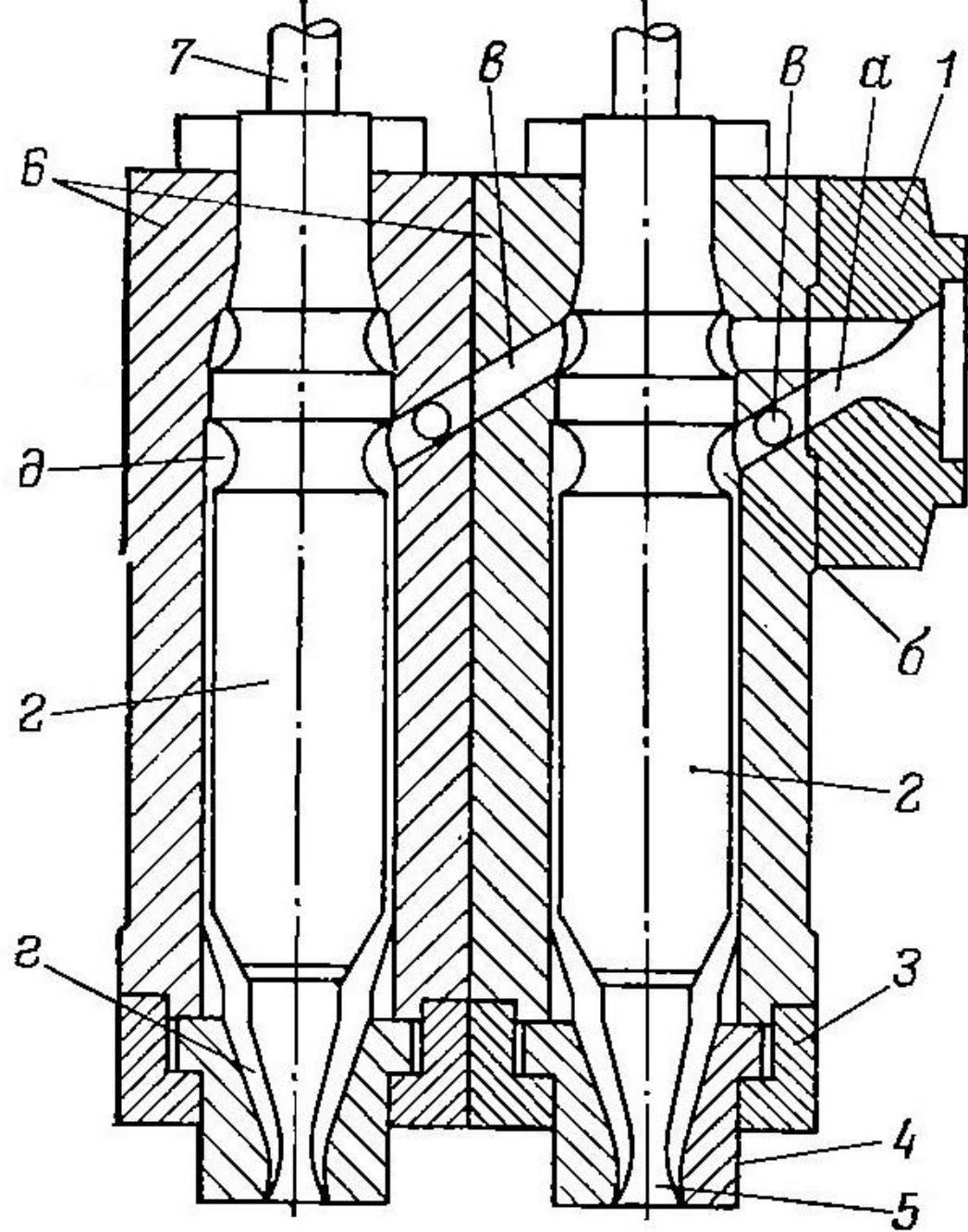


Головка с регулируемой величиной щели

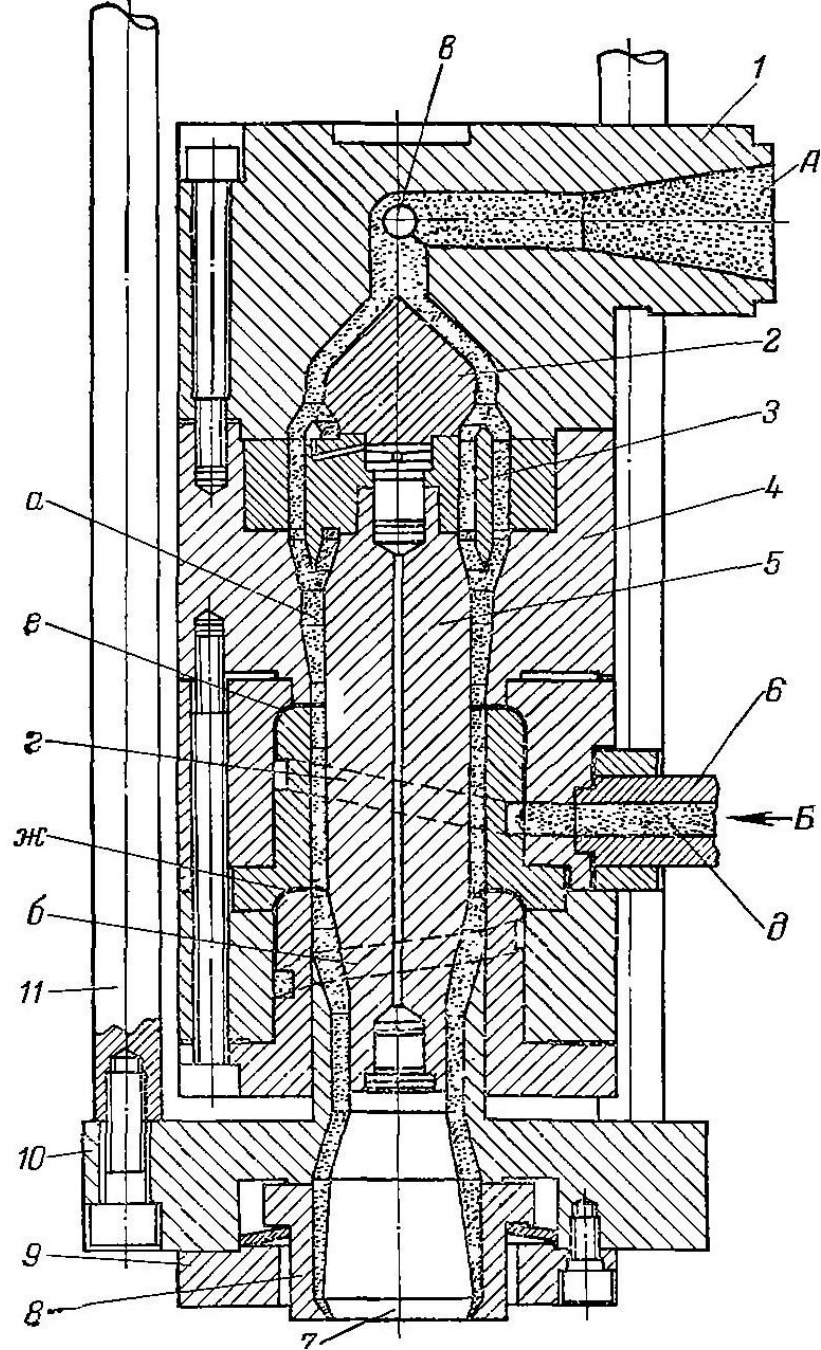


Гидравлическая схема управления перемещением дорна:

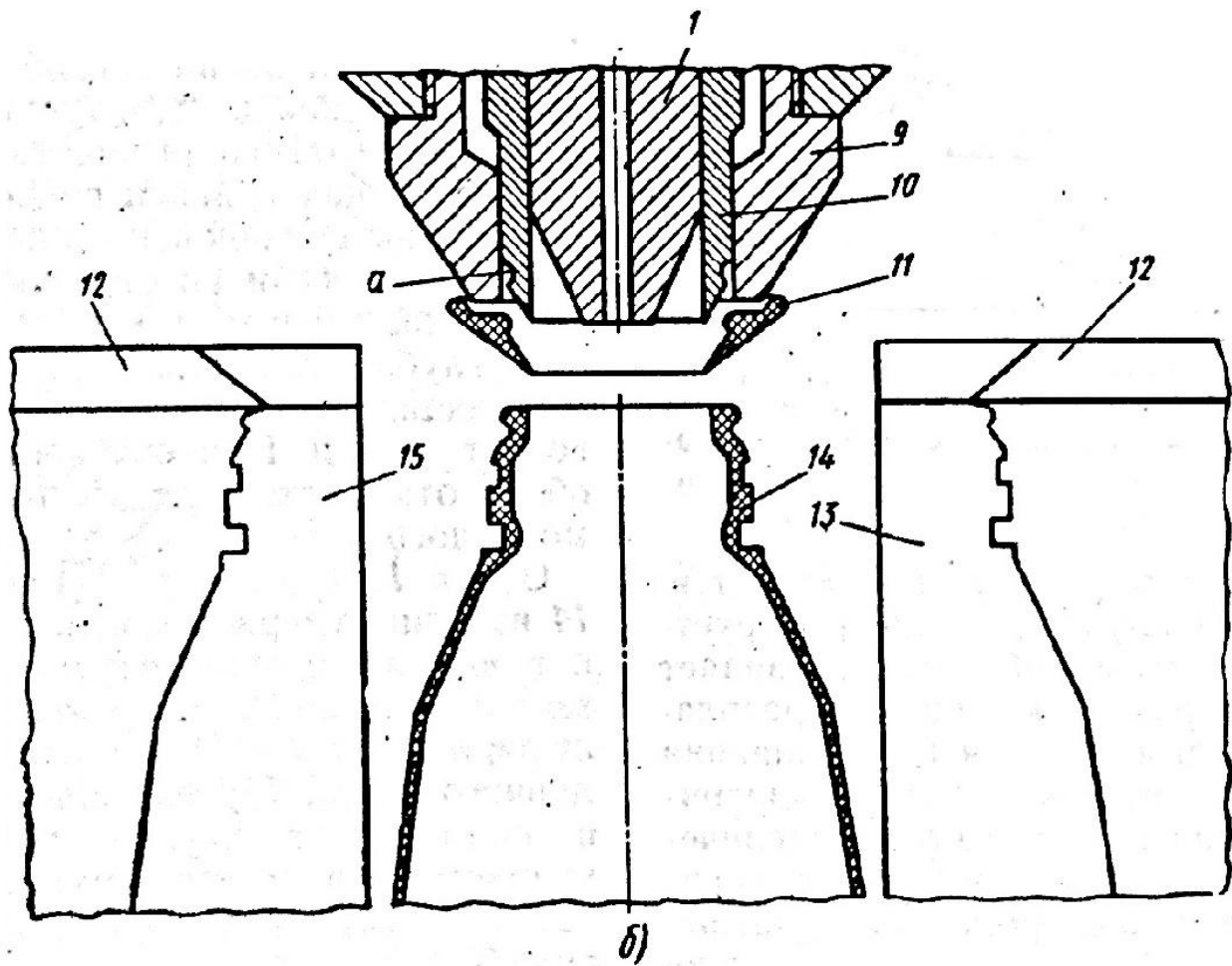
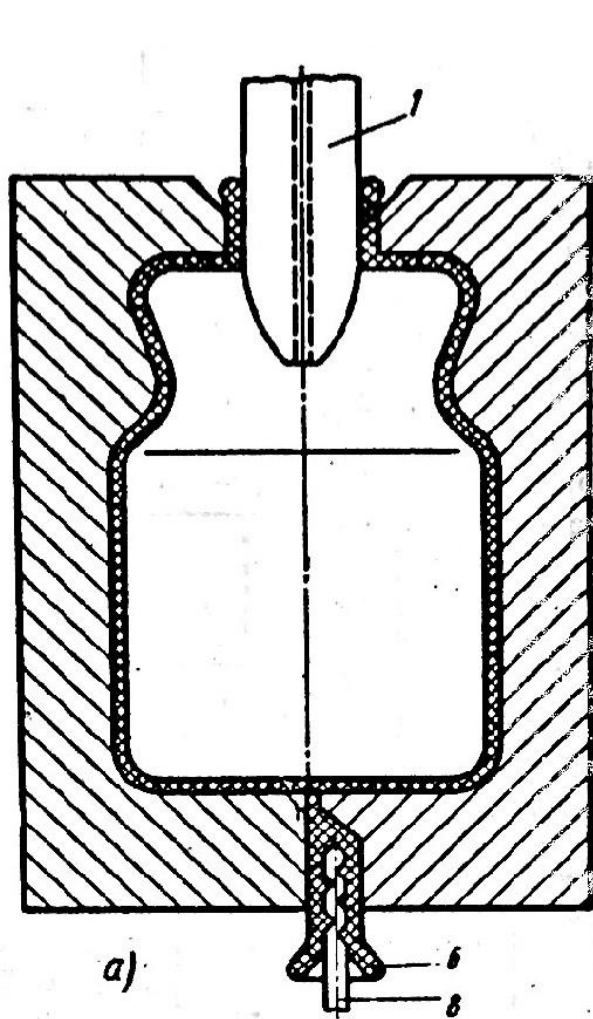
1 — фильтр; 2 — гидронасос; 3 — предохранительный клапан; 4 — вентиль; 5, 12 — управляющие электромагниты; 6, 11 — золотники управления; 7 — экструдер; 8 — гидроцилиндр; 9 — головка; 10 — дорн.



Двухручьевая пинольная головка



Головка для экструзии трехслойной заготовки



Устройства для автоматического удаления облоя с элементов полых изделий:
 а — днища; б — горловины

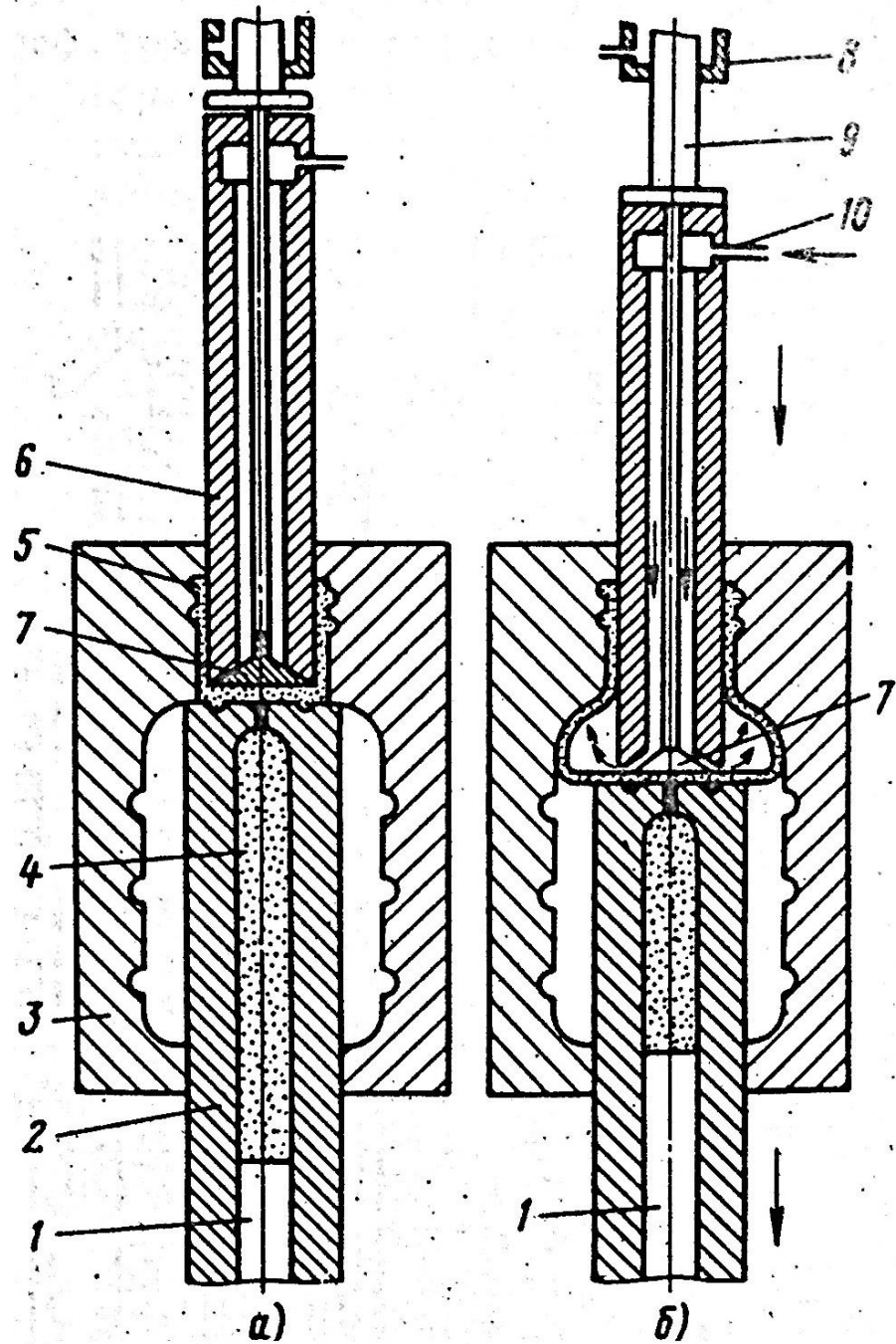
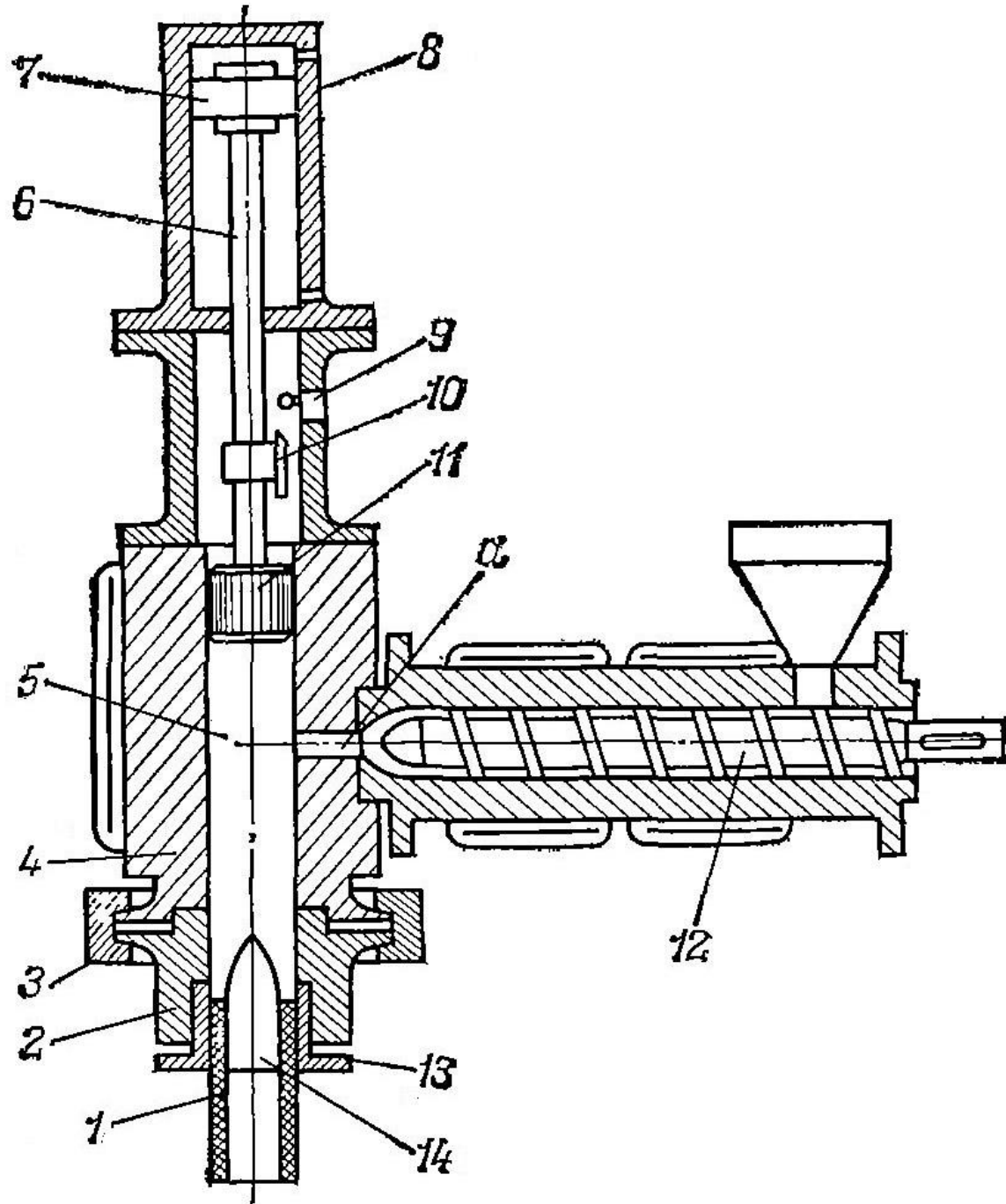
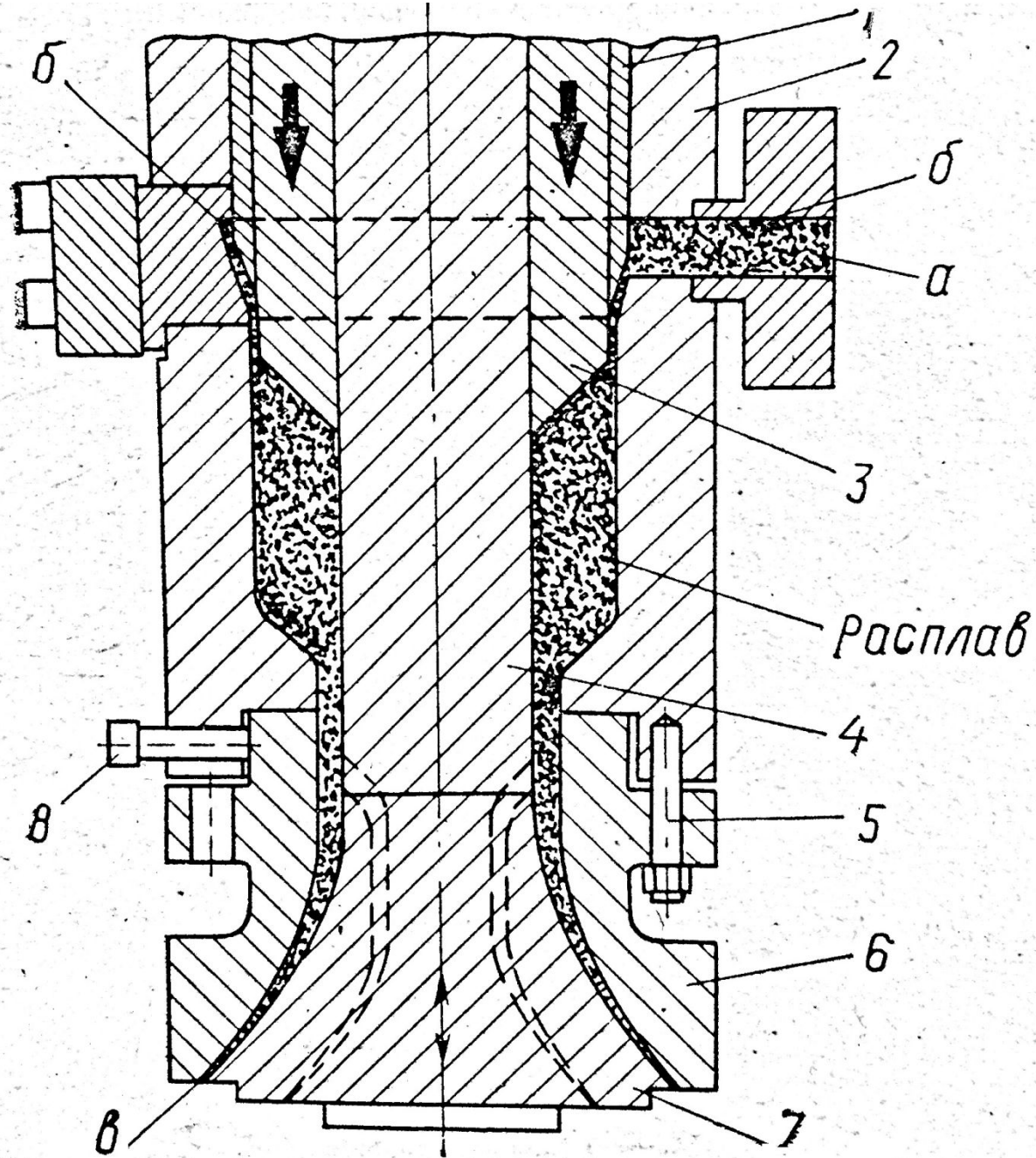


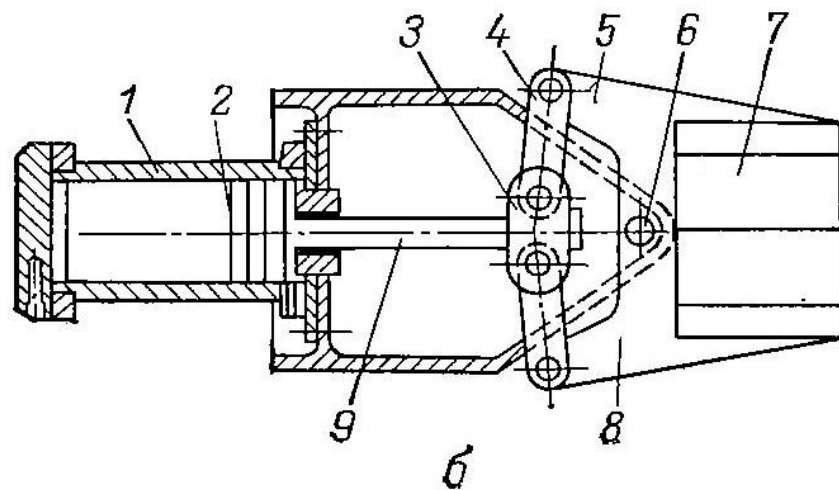
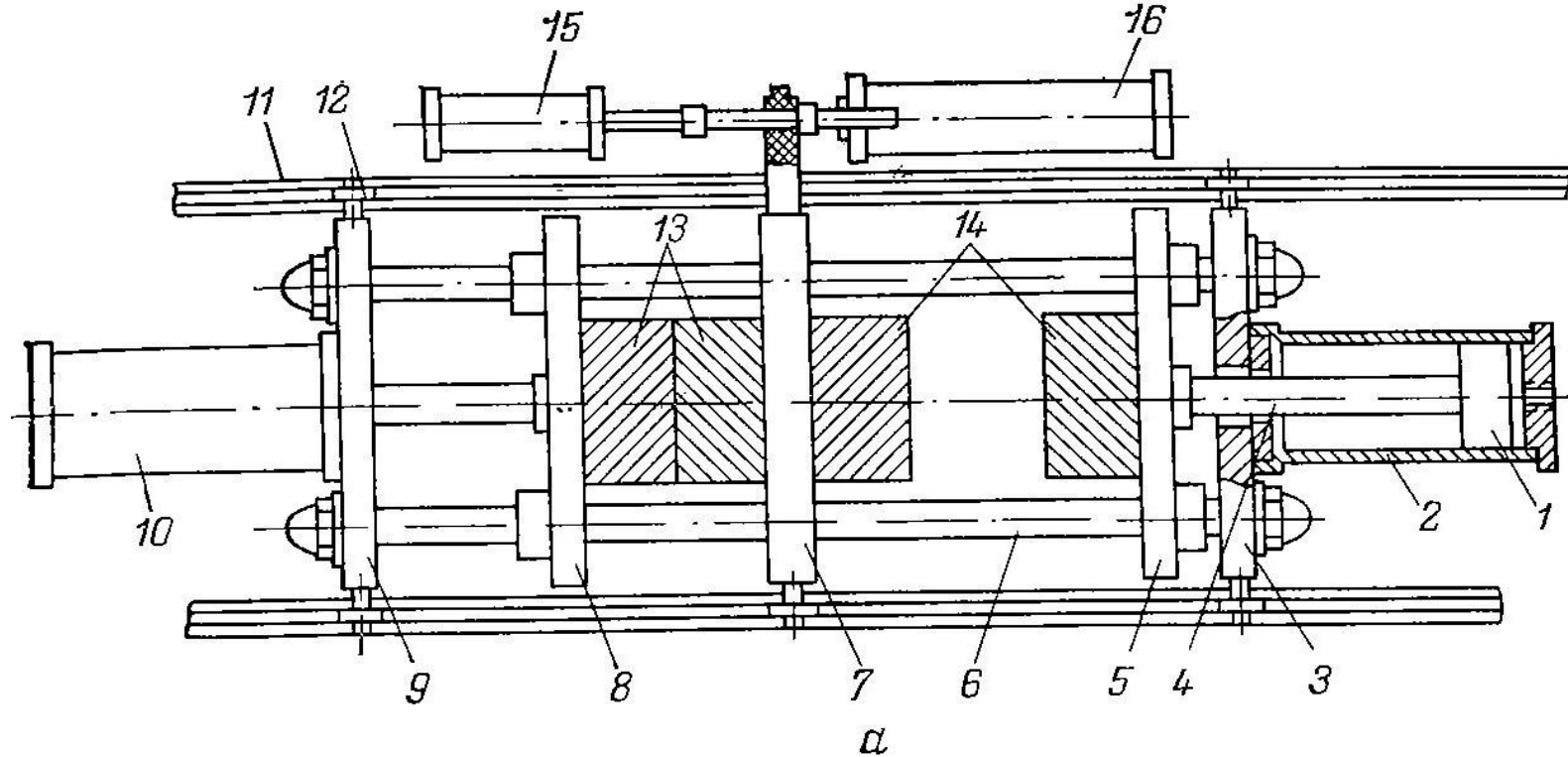
Схема работы агрегата, обеспечивающего
одновременную инъекцию заготовки и ее раздувание



Аккумуляторная головка плунжерного типа.



Аккумуляторная головка с кольцевым поршнем



Механизмы смыкания выдувных машин:
a - плоскопараллельный механизм смыкания с пневматическим приводом;
б - шарнирный механизм смыкания

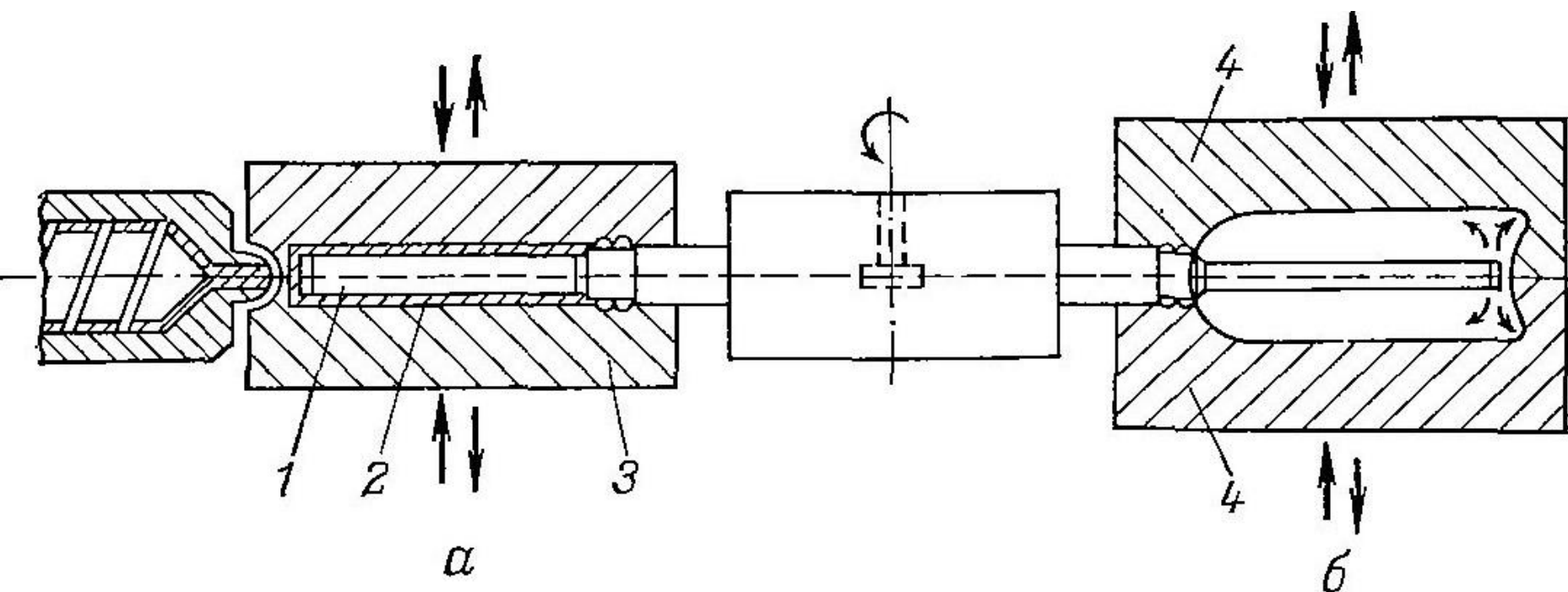
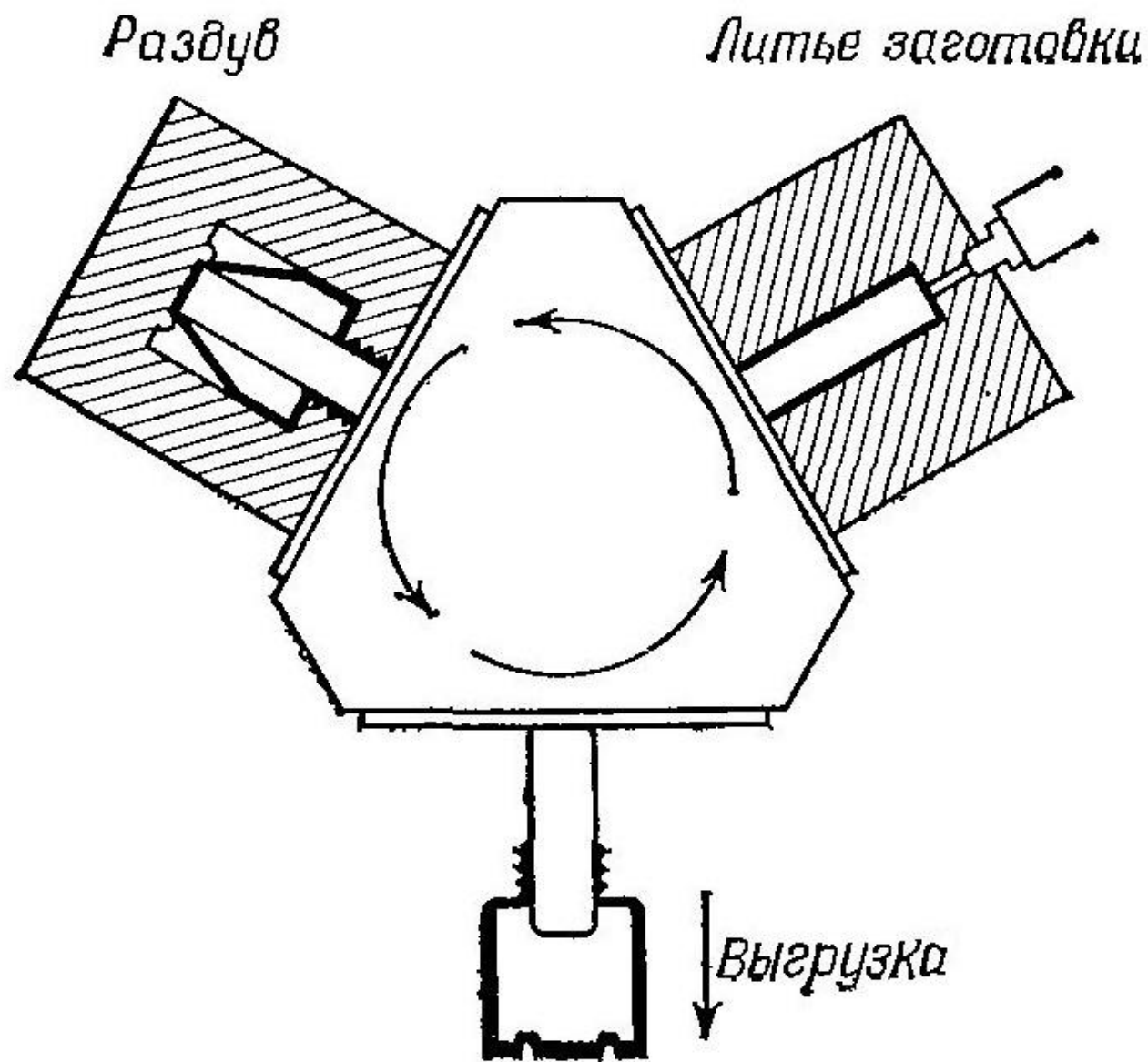


Схема инъекционно-выдувного формования:
а - формирование заготовки; *б* - раздув и формирование изделия



Трехпозиционная роторная машина
для инъекционно-выдувного формования

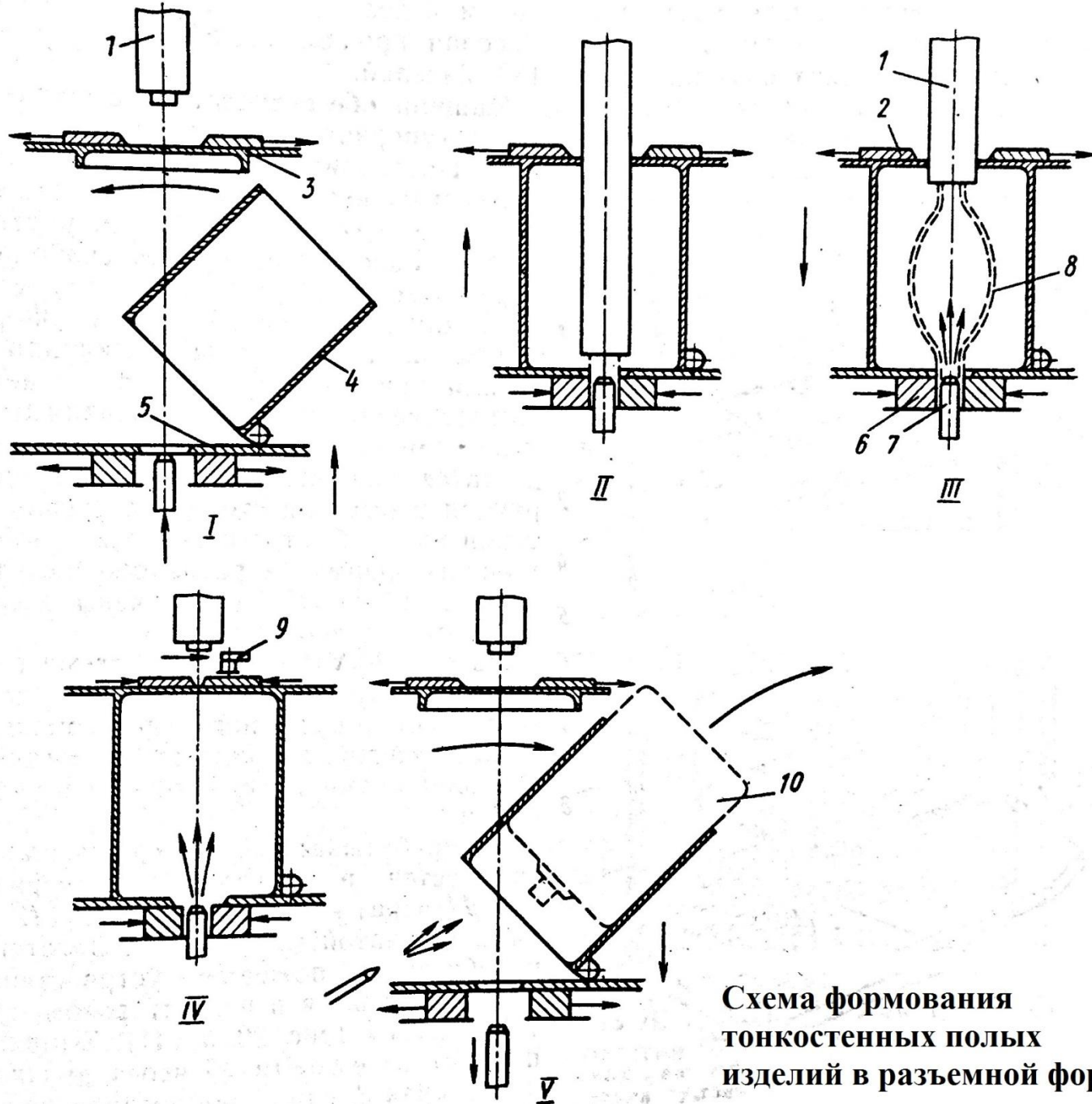


Схема формования тонкостенных полых изделий в разъемной форме

Цикл работы ЭВА состоит из следующих стадий: экструзия заготовки, смыкание формы и заваривание доньшка, раздув заготовки, охлаждение изделия, раскрытие формы и удаление из нее готового изделия. Очевидно, что суммарная продолжительность цикла определится как сумма продолжительности всех его стадий:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5$$

τ_1 — время экструзии заготовки; τ_2 — время смыкания формы; τ_3 — время раздува; τ_4 — время охлаждения; τ_5 — время раскрытия формы и удаление готового изделия.

Основные параметры отечественных выдувных агрегатов

Тип агрегата	Емкость изделий, л	Число изделий, получаемых за один цикл	Емкость копильника, см ³	Усилие замыкания формы, кН	Размеры крепежных плит (длина × ширина), см	Расстояние между крепежными плитами, см	
						при разомкнутой форме	при замкнутой форме
AB-0,15	0,05—1,15	2—4	60	14	20×18	19	9
AB-0,5	0,15—0,50	2—4	125	21	28×22	25	11
AB-1	0,5—1,0	2—4	250	36	36×25	28	13
AB-2,5	1,0—2,5	2—4	500	60	45×28	28	13
AB-10	2,5—10,0	2—4	2 500	150	75×36	71	20
AB-30	10—30	1—2	5 000	150	75×63	85	28
AB-60	30—60	1	7 500	224	50×75	106	48
AB-125	60—125	1	11 800	316	75×90	125	60
AB-250	125—250	1	25 000	450	90×100	160	75
AB-500	250—500	1	50 000	630	100×140	200	85

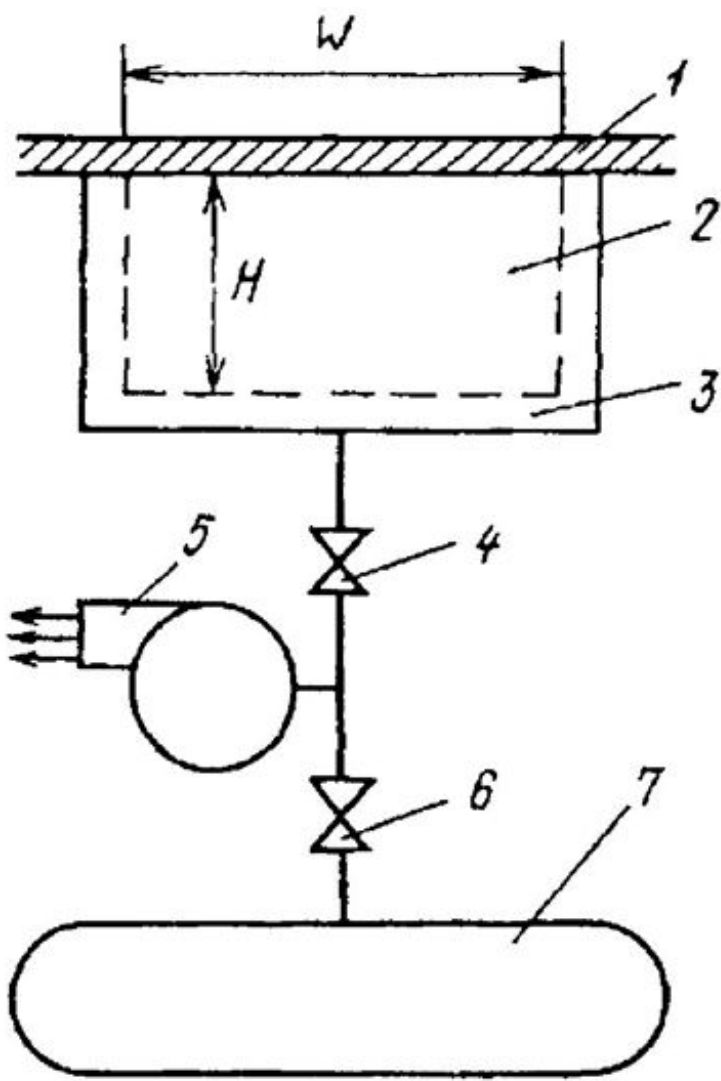


Схема компоновки вакуумной системы:

1 — формуемый лист; 2 — полость формы; 3 — отформованное изделие; 4, 6 — клапаны; 5 — вакуум-насос; 7 — ресивер;
H — глубина, *W* — ширина изделия

После открытия клапанов 4 и 6

$$P_1 V_{\phi} + P_0 V_p = P_2 (V_{\phi} + V_p), \text{ где}$$

V_{ϕ} — объём формы; V_p — объём ресивера;

P_1 — давление воздуха;

P_2 — общее давление в системе ресивер-форма;

P_0 — давление в ресивере на старте.

$$P_2 = (P_1 V_{\phi} + P_0 V_p) / (V_{\phi} + V_p),$$

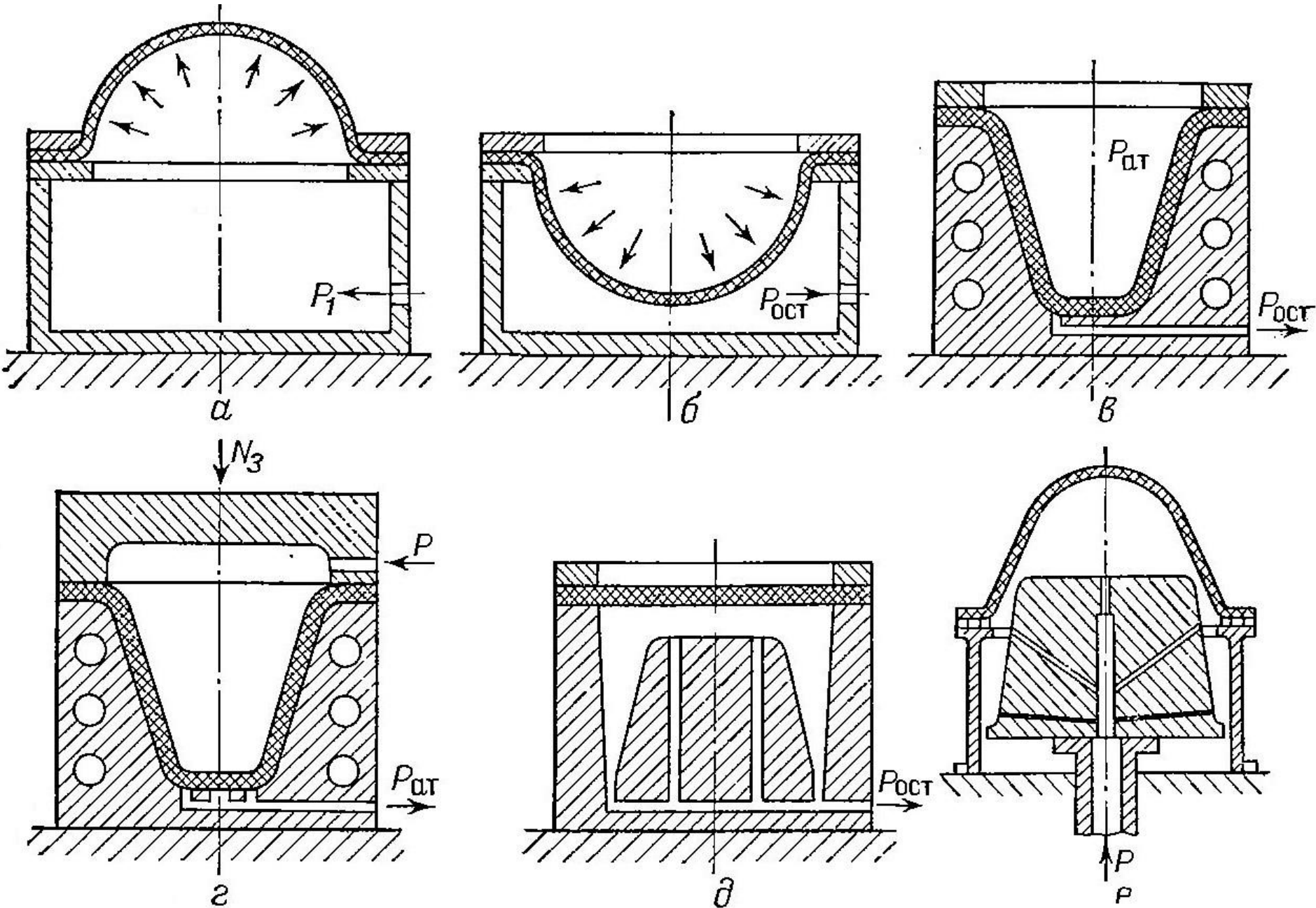
Давление, деформирующее лист, $P = P_1 - P_2 =$

$$= P_1 - (P_1 V_{\phi} + P_0 V_p) / (V_{\phi} + V_p) =$$

$$= (P_1 V_{\phi} + P_1 V_p - P_1 V_{\phi} - P_0 V_p) / (V_{\phi} + V_p) =$$

$$= (P_1 V_p - P_0 V_p) / (V_{\phi} + V_p).$$

$$P = P_1 - P_2 = V_p (P_1 - P_0) / (V_{\phi} + V_p)$$



Основные методы формования из листа

H/W = 1:1

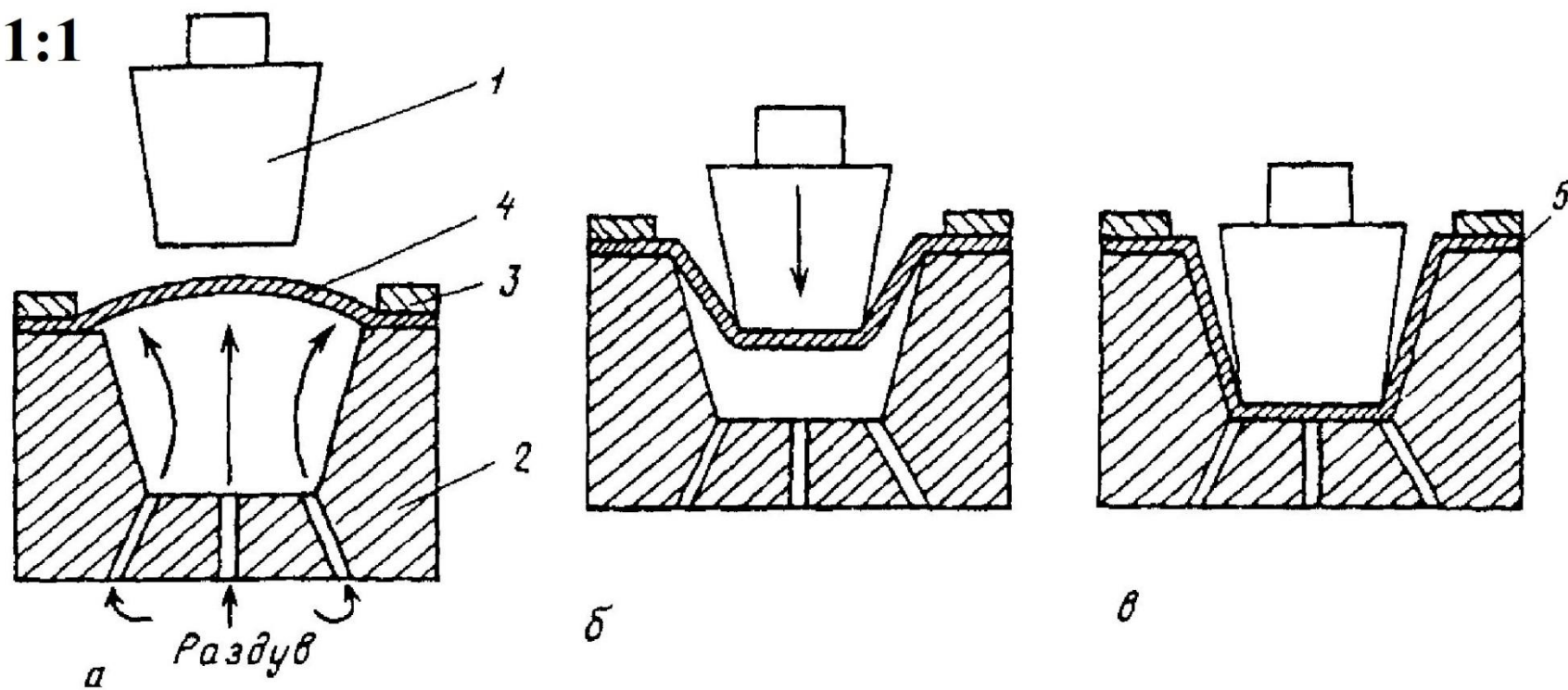


Схема вакуумного формования с предварительным раздувом листа и применением пуансона-толкателя: *а* — раздув разогретого листа; *б* — опускание пуансона-толкателя; *в* — вакуумное формование; 1 — пуансон-толкатель; 2 — форма; 3 — прижимная рамка; 4 — раздутый лист (пузырь); 5 — изделие

$H/W = 1:3$

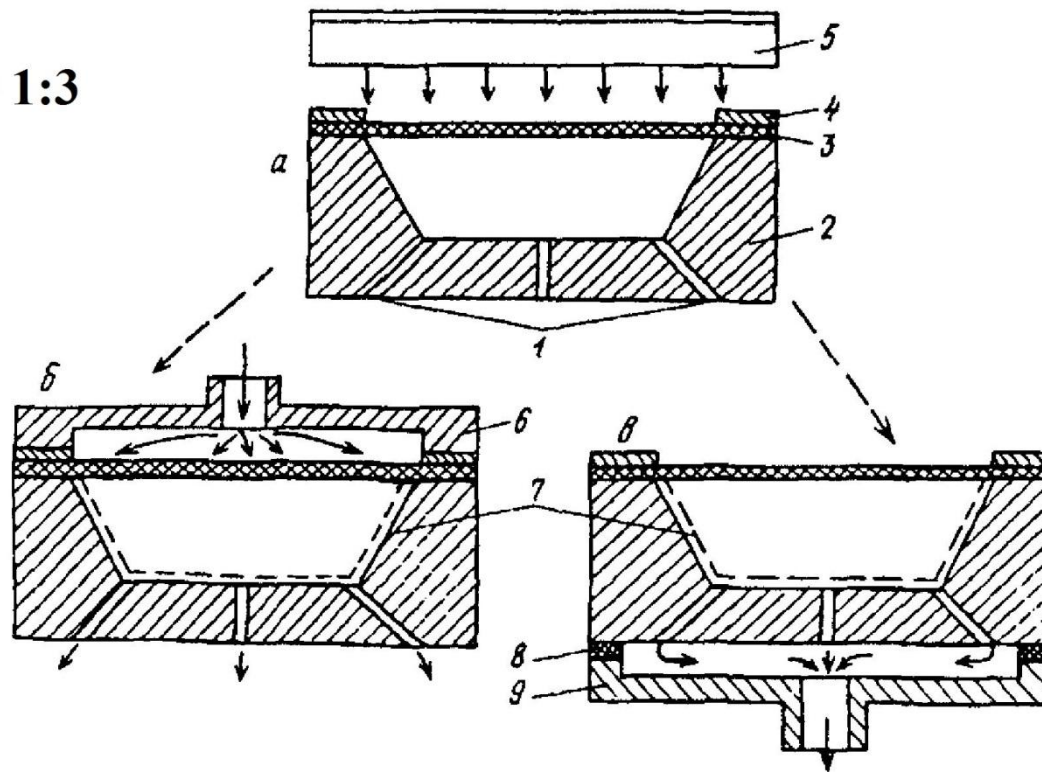


Схема негативного пневмо- и вакуумного формования изделий из листов термопластов:
a — подогрев листа; *б* — пневмоформование; *в* — вакуумное формование:
 1 — каналы для воздуха; 2 — форма; 3 — лист полимера; 4 — прижимная рамка;
 5 — ИК-нагреватель; 6 — пневмостол; 7 — изделие; 8 — прокладка; 9 — вакуумный стол

$H/W = 1:2$

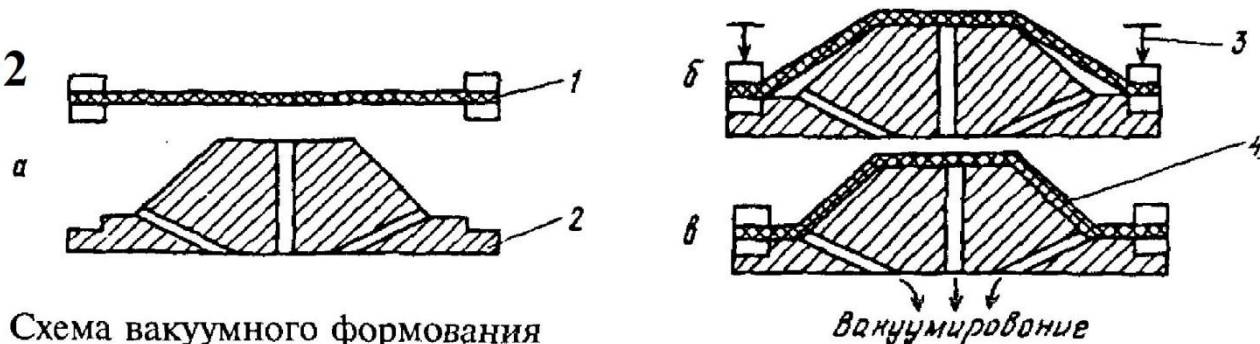
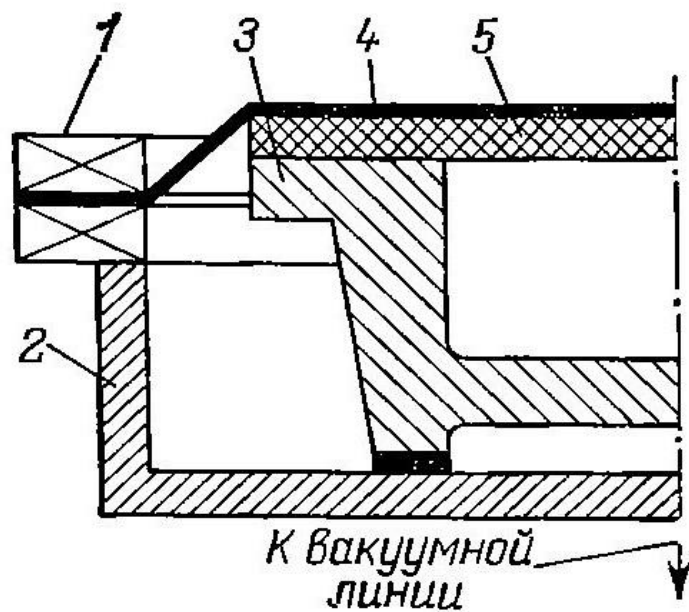
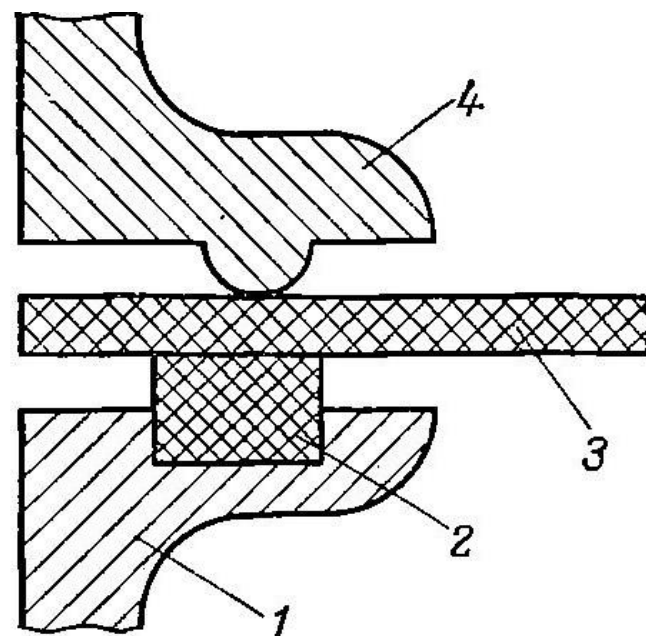


Схема вакуумного формования с натягом листа на пуансон-форму:
a — прогрев листа; *б* — натяг на пуансон-форму (предварительная вытяжка);
в — вакуумное формование:
 1 — лист в прижимной рамке; 2 — форма; 3 — прижимное устройство; 4 — изделие



Конструкция устройства для зажима
кромки листа



Крепление заготовки при помощи
резиновой мембраны

$H/W > 1$

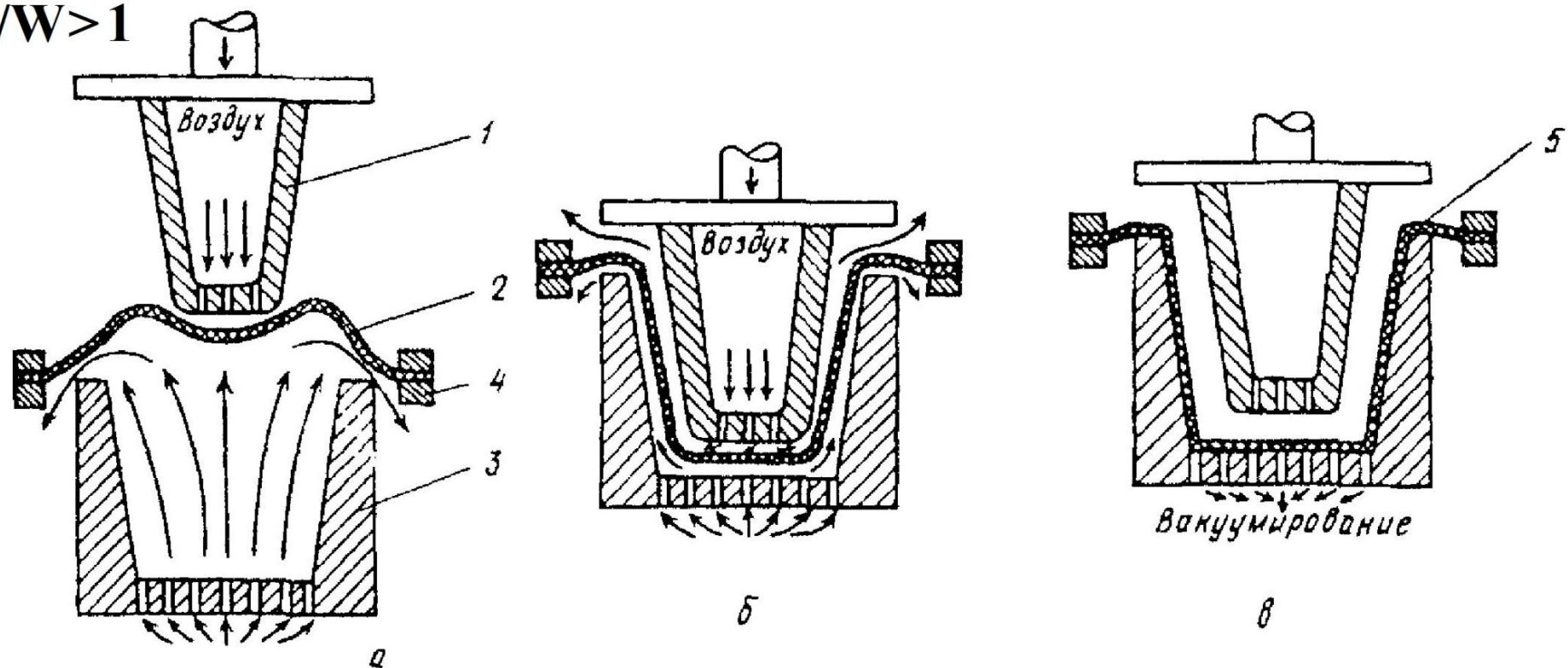


Схема комбинированного пневмо вакуум-формования на воздушной подушке:

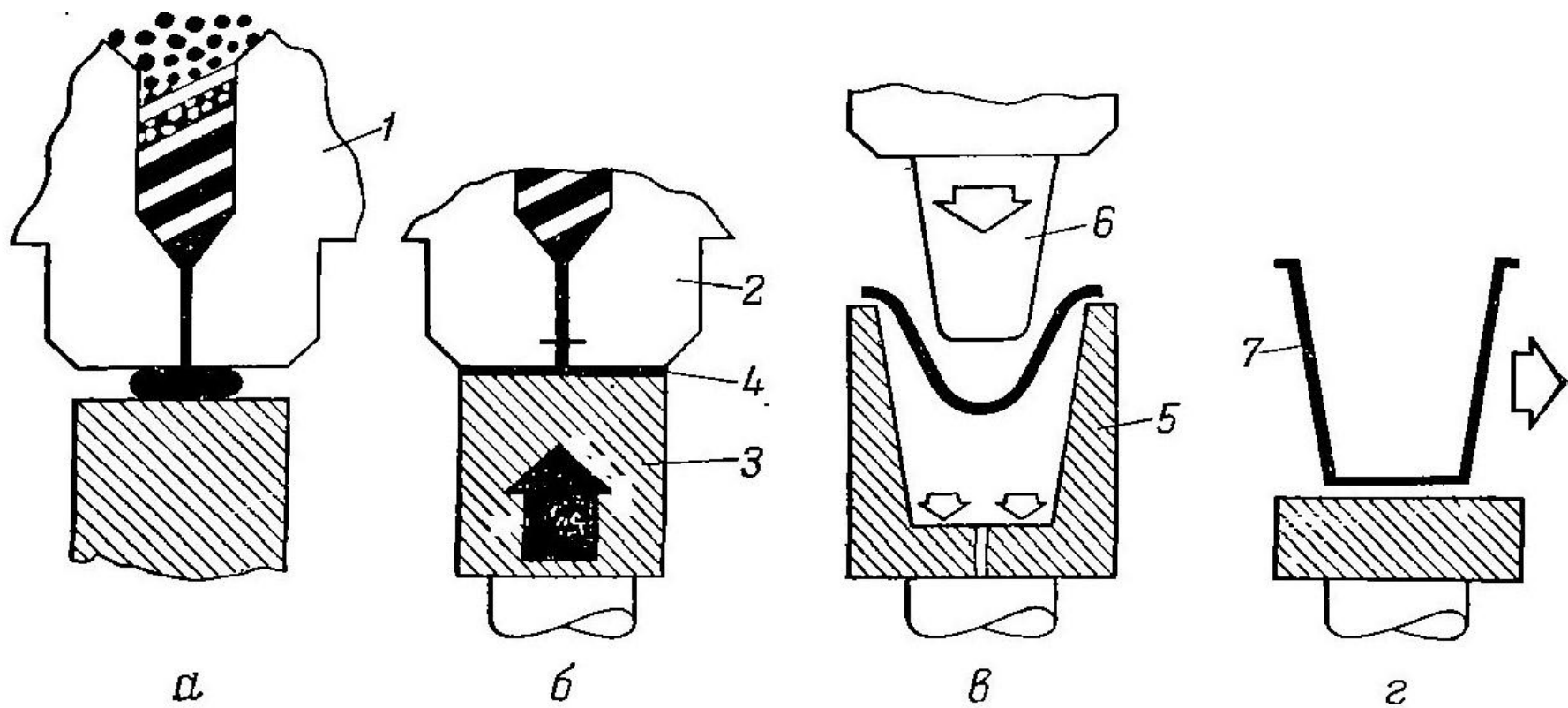
а — деформирование раздутого прогретого листа;

б — вдавливание пуансона-толкателя в форму и пневмоформование;

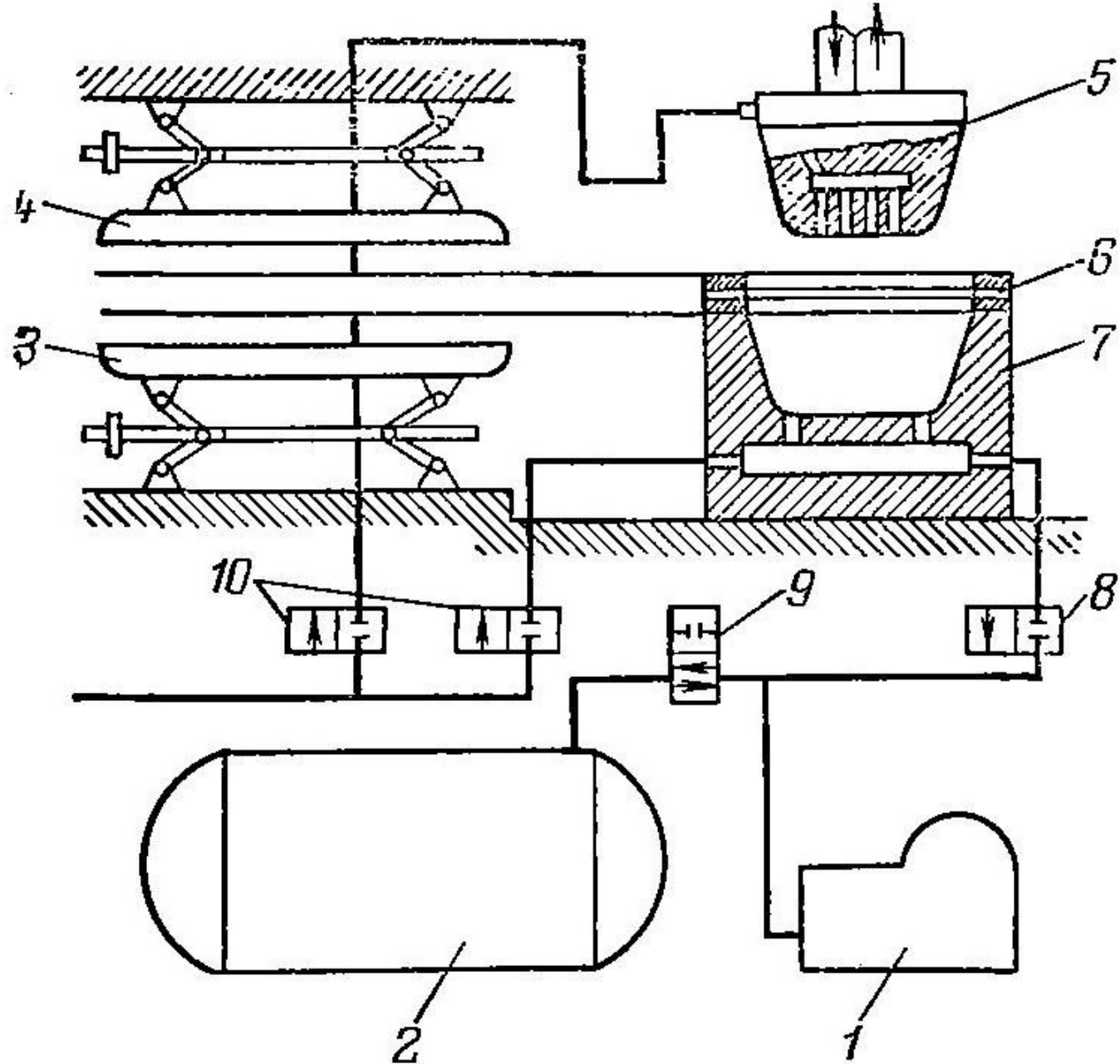
в — вакуумное формование и подъем пуансона;

1 — пуансон-толкатель; *2* — деформированный прогретый лист (пузырь); *3* — форма;

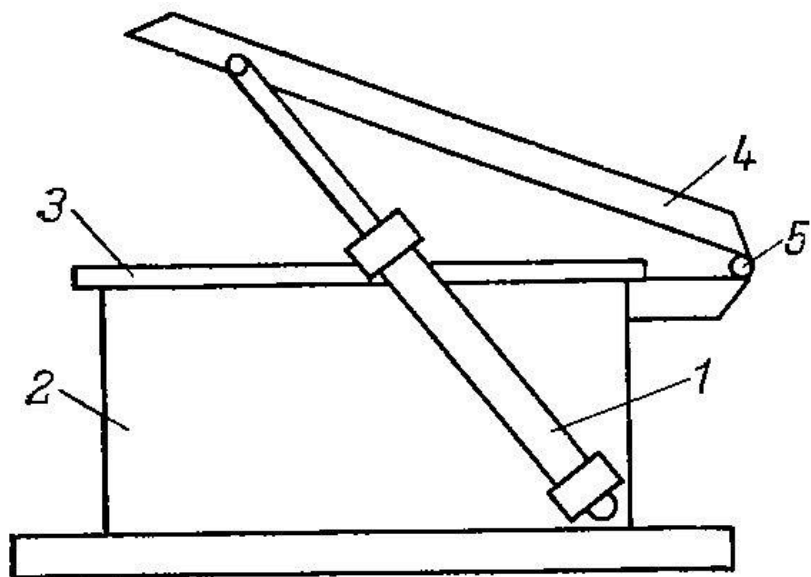
4 — прижимная рама; *5* — изделие



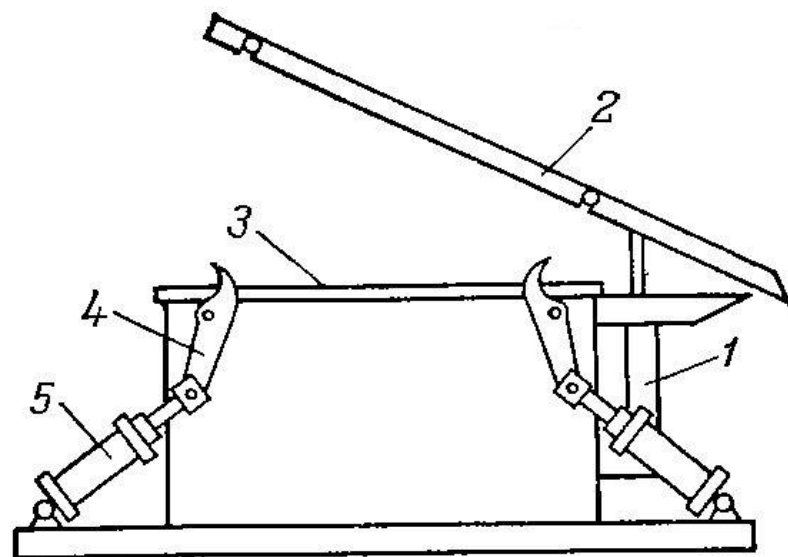
Принципиальная схема топформования



Однопозиционная универсальная машина
для пневмовакуум-формования.



а

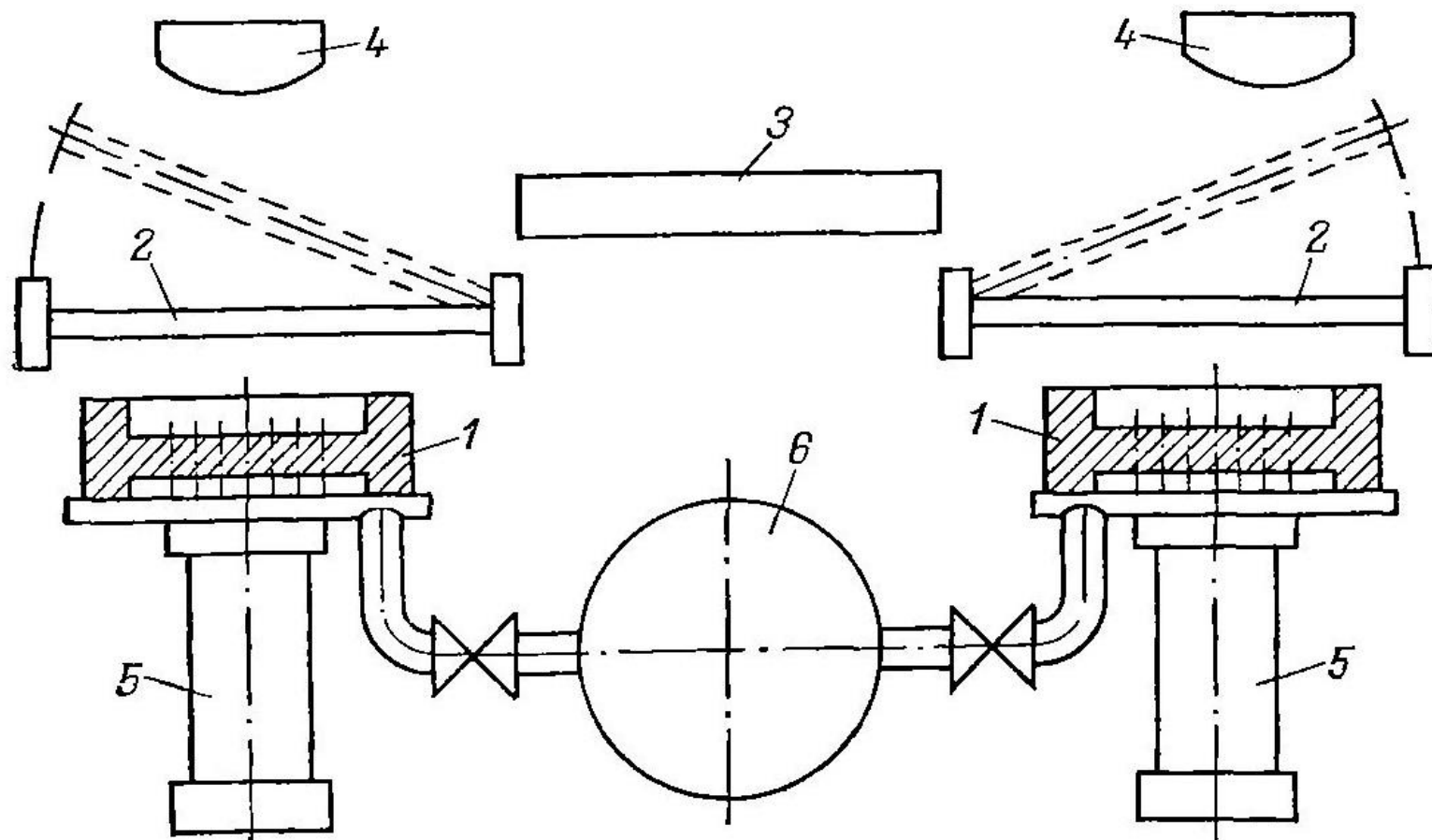


б

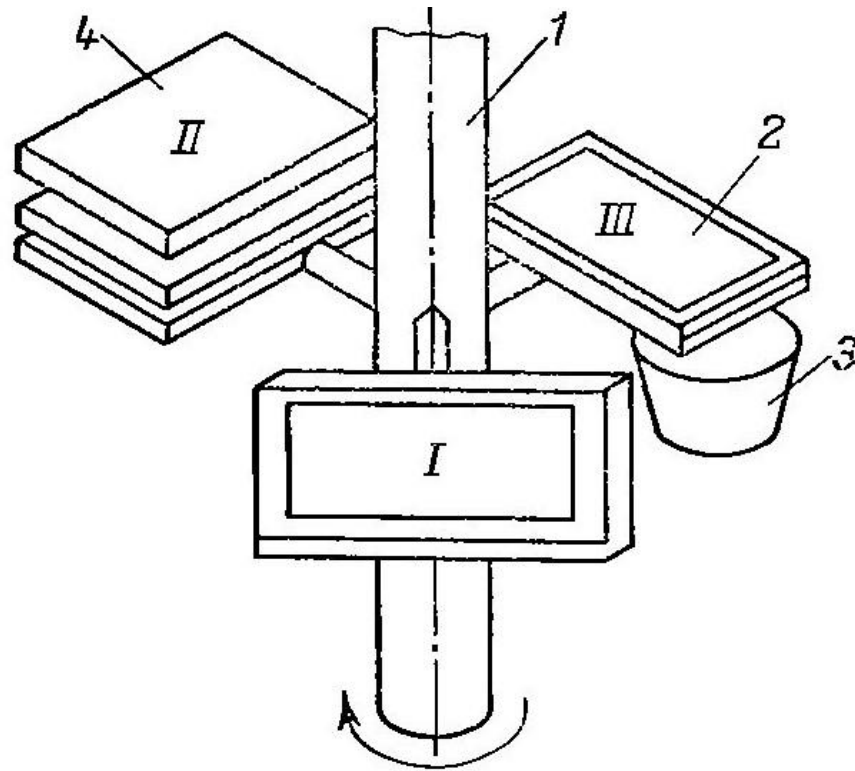
а - Зажимная рама с общими цилиндрами подъема и крепления заготовки:

1 — качающийся цилиндр; 2 — формовочная камера; 3 — нижняя рама;
4 — верхняя рама; 5 — шарнир.

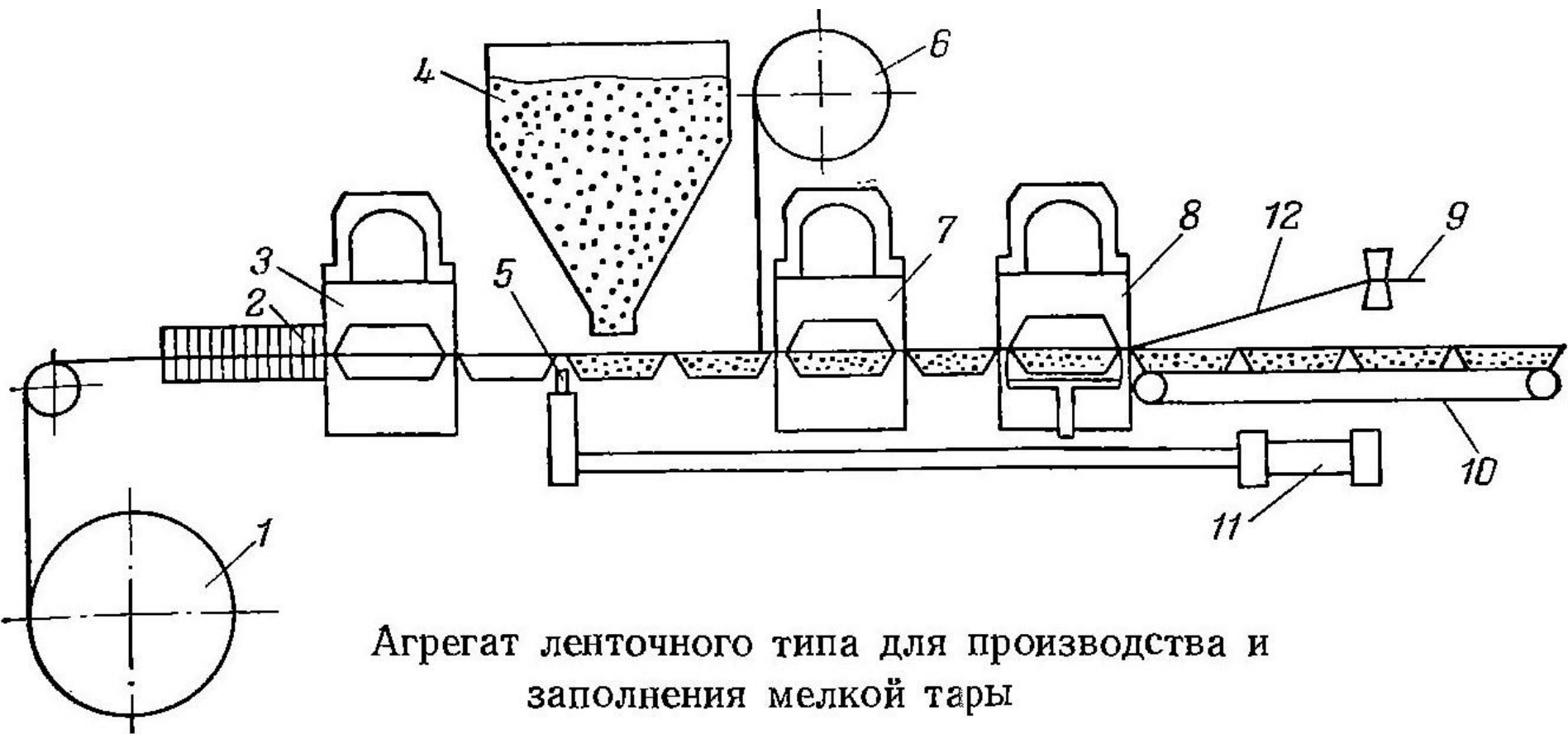
б - Зажимная рама со специальным цилиндром подъема

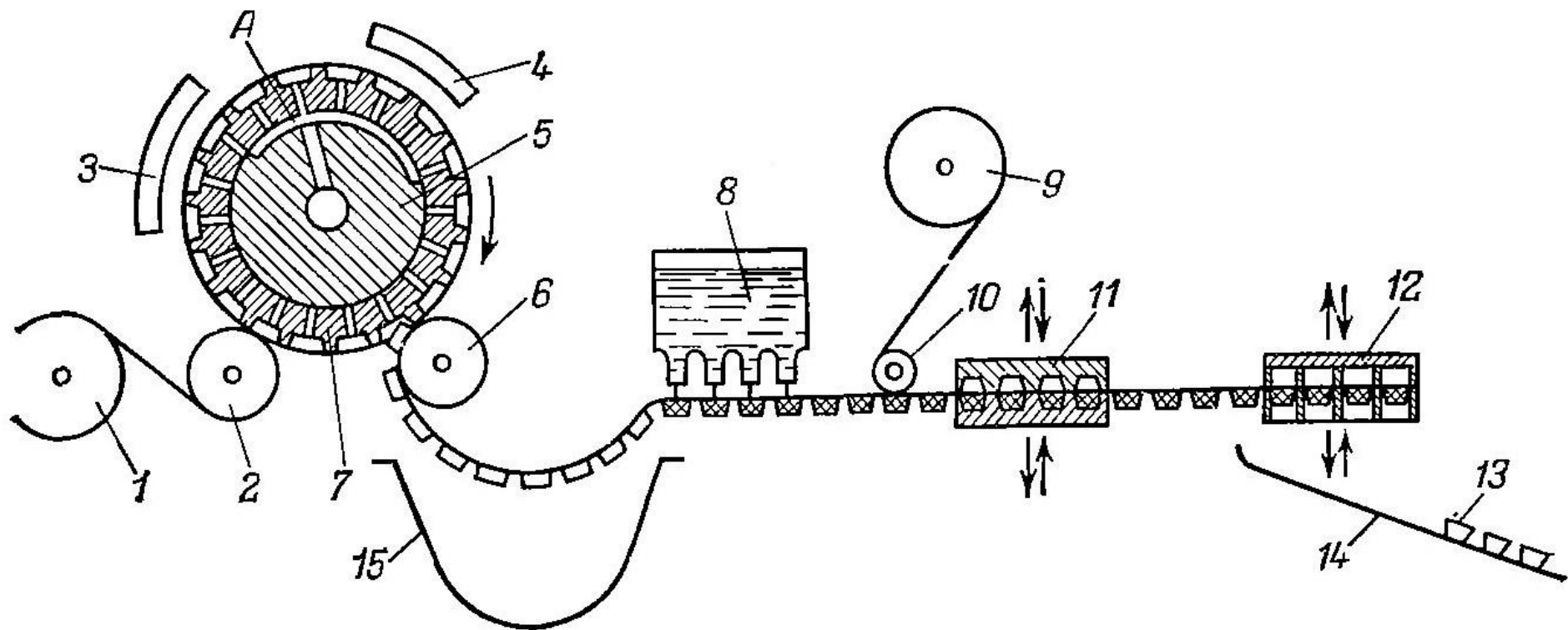


Двухпозиционная вакуум-формовочная машина VP 2000
с однородными позициями

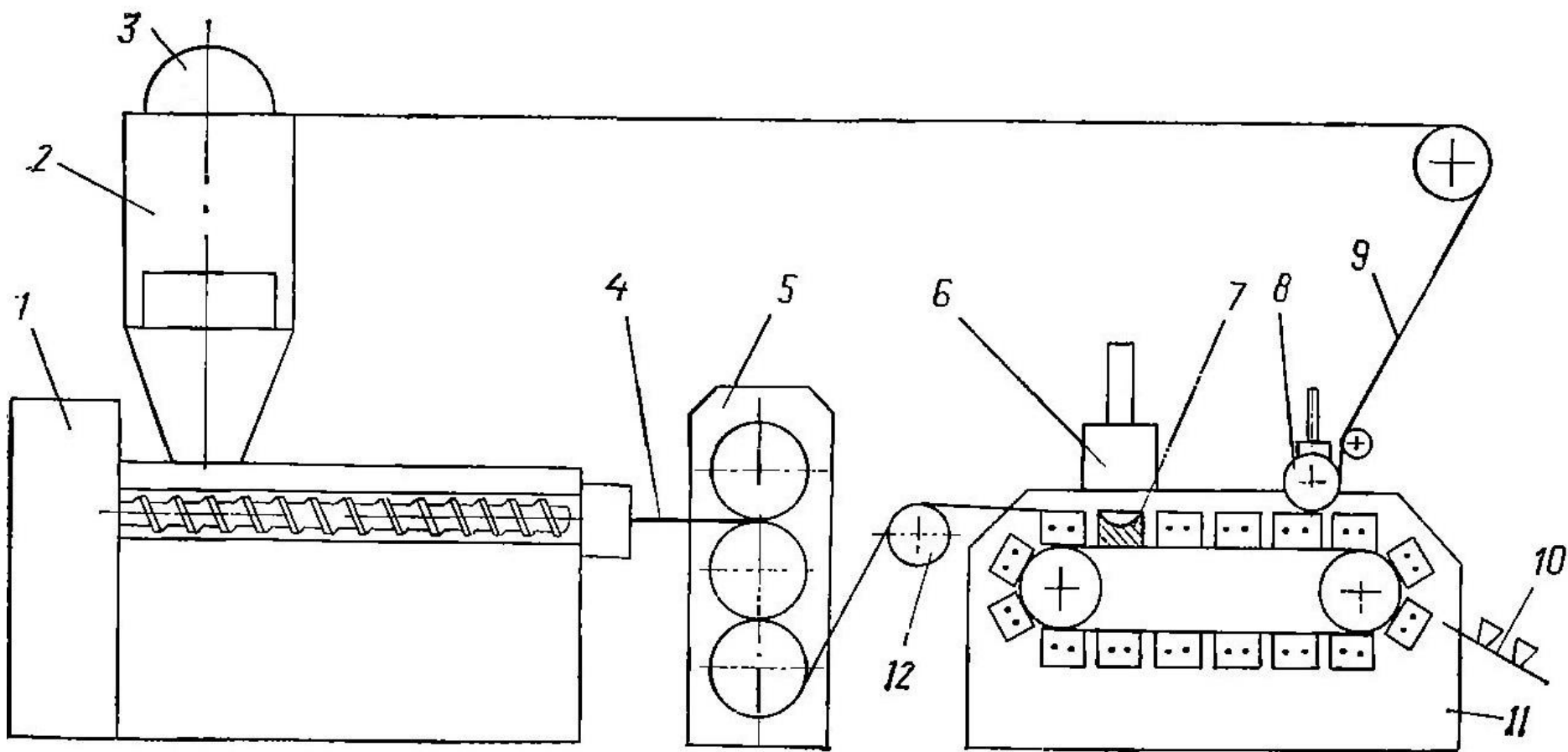


Трехпозиционная карусельная
вакуум-формовочная машина





Агрегат с барабанным вакуум-формовочным устройством для формования и заполнения мелкой тары



Комплексный экструзивно-формовочный агрегат

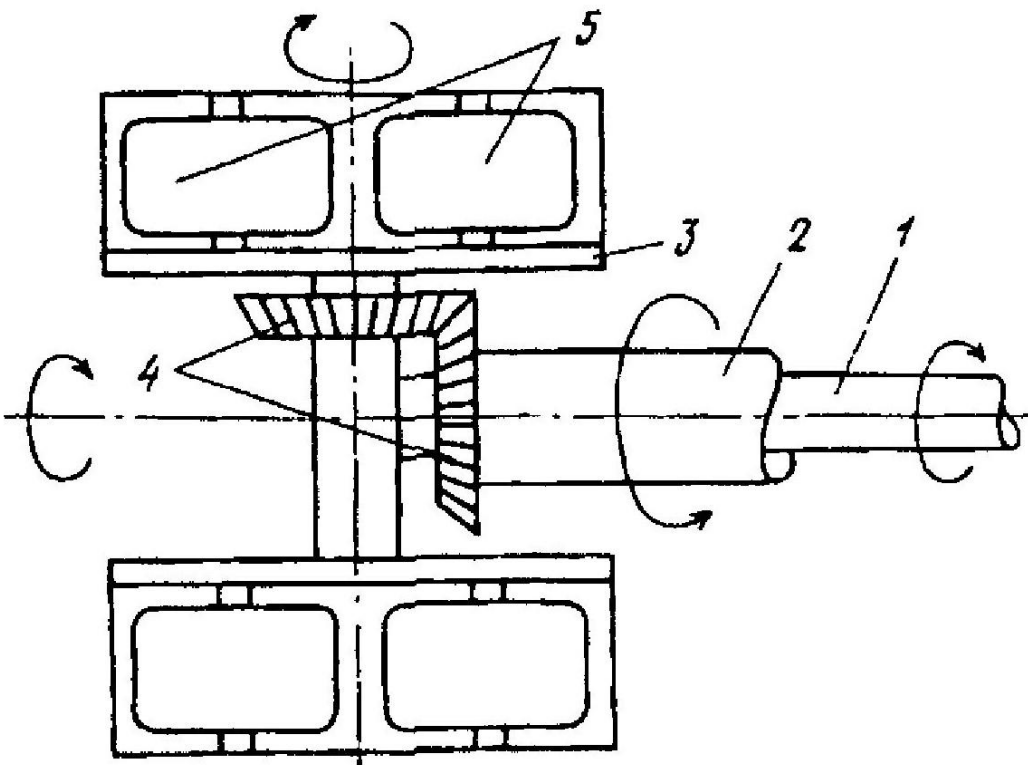
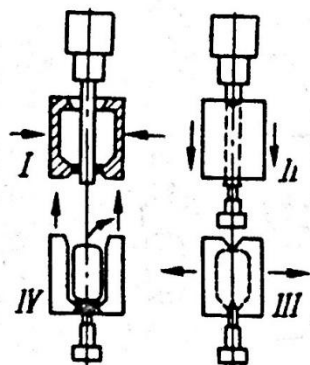


Схема устройства для двухосного вращения форм при ротационном формовании изделий:

1 — вал привода для вращения форм в вертикальной плоскости; 2 — полый вал для вращения форм в горизонтальной плоскости; 3 — столы для крепления форм; 4 — редуктор; 5 — формы

Методы выдувного формования полых изделий из термопластов

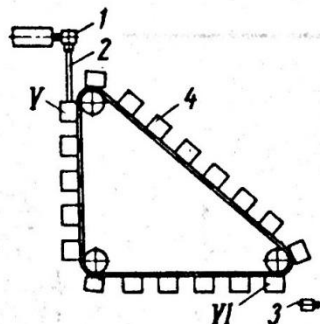
Схема формования	Описание схемы формования	Достоинства	Недостатки
	<p>Полуформы 4 и 6 вращаются вокруг горизонтальной оси 5, трубчатая заготовка 2 выдавливается из головки 1 экструдера непрерывно. В позициях I и II заготовка зажимается и раздувается (через иглу, вводимую в канал a), а в позиции III полое изделие 3 выталкивается из раскрытой формы</p>	<p>Возрастание производительности с увеличением числа форм и частоты их вращения. Отсутствие устройства для переноса заготовки в форму. Переработка отходов. Применимость метода при массовом производстве</p>	<p>Необходимость окончательной механической обработки изделия (которая может быть весьма трудоемкой), так как при замыкании форма зажимает заготовку</p>
	<p>Две формы вращаются вокруг вертикальной оси; заготовка непрерывно выдавливается вниз. В позициях I и II заготовка зажимается, обрезается ножом 7 и раздувается, а в позиции III изделие выталкивается из раскрытой формы</p>	<p>Возрастание производительности с увеличением числа форм и частоты их вращения. Применимость метода при массовом производстве.</p>	<p>Возможность соприкосновения заготовки с формой при ее быстром выдавливании вниз; это нежелательно, так как затрудняется монтаж устройства для отрезания заготовки</p>
	<p>Две формы движутся возвратно-поступательно. Заготовка непрерывно выдавливается вниз, поочередно зажимается формами и обрезается ножом 7</p>	<p>Возможность использования одного прессового узла для привода двух форм</p>	<p>Невозможность установки более двух форм; вероятность соприкосновения заготовки с поверхностью формы при быстром выдавливании</p>



Формы ускоренно перемещаются вверх и вниз, заготовка непрерывно выдавливается вниз. Форма поднимается, зажимает и отрезает заготовку (позиции I, II), затем быстро опускается в позиции III, IV, где изделие выдувается, охлаждается и выталкивается

Применимость метода для производства малых и средних серий изделий. Высокая производительность одного комплекта форм. Возможность отливки деталей, комплектующих изделия

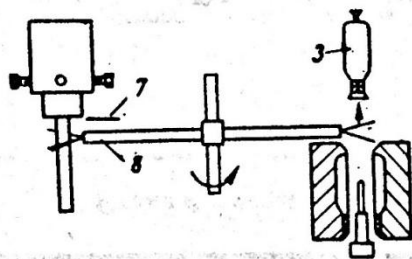
Ограниченная производительность, поскольку не предусмотрено применение большого числа форм



Заготовка 2 непрерывно выдавливается из экструзионной головки 1 вниз. Формы 4 непрерывно перемещаются цепным устройством. В позиции V формы замыкаются, а в позиции VI размыкаются, и изделия 3 выталкиваются

Высокая производительность, непрерывность процесса, возможность формования различных изделий одинаковой массы. Отсутствие устройства для переноса заготовки в формы

Необходимость установки большого числа форм. Невозможность использования для формования или охлаждения форм, расположенных на наклонном участке. Сложность подвода охлаждающей воды к форме



Заготовка отрезается ножом 7, затем переносится специальным устройством 8 в полость каждой стационарной или подвижной формы

Возрастание производительности с увеличением числа форм и скорости переноса заготовок. Возможность применения раздувания сверху, а также прокалывания заготовки для раздувания

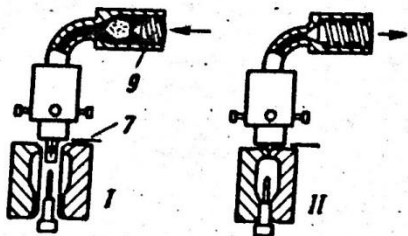
Высокая скорость переноса заготовки в форму во избежание ее остывания

Схема формования

Описание схемы формования

Достоинства

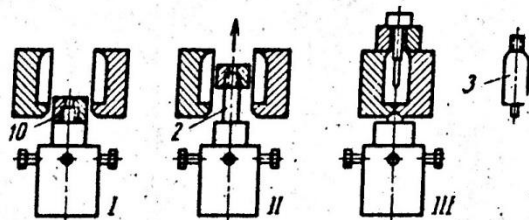
Недостатки



Заготовка выдавливается периодически при осевом перемещении червяка 9 экструдера (позиция I). Червяк возвращается в позицию II во время раздувания и охлаждения изделия

Применимость метода для переработки различных термопластов, в том числе жесткого поливинилхлорида, в изделия любой формы. Возможность регулирования скорости выдавливания заготовки

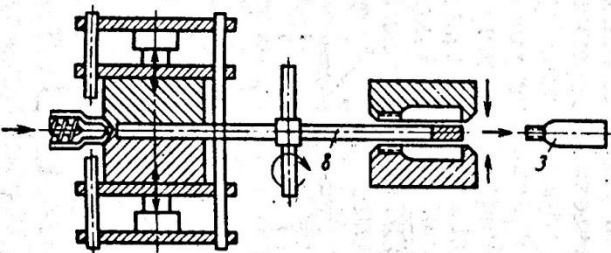
Ограниченный объем материала, выдавливаемого при осевом перемещении червяка



В позиции I формируется горловина 10 изделия 3 методом литья под давлением, затем экструдируется трубчатая заготовка 2 и раздувается (позиции II и III). Заготовка экструдируется периодически

Возможность изменения и контроля формы и размеров горловины

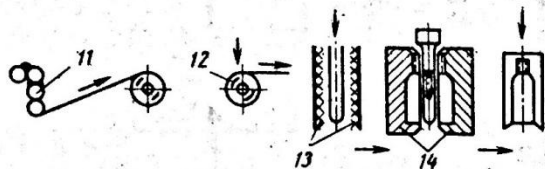
Произвольное вытекание материала через зазор между инжекционной формой и головкой экструдера. Сложность контроля толщины стенок цилиндрической заготовки, так как она выдавливается периодически



Заготовка формируется в литевой форме на дорне 8, переносится в выдвную форму и раздувается сжатым воздухом

Простота регулирования и контроля толщины стенок. Следы от разъема форм не влияют на качество изделий

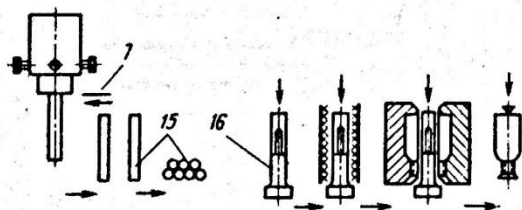
Высокая стоимость форм. Небольшие размеры получаемых деталей. Затруднения при переработке высоковязких материалов



Рулонный материал получают на каландре 11 или экструдере, после чего рулон 12 разматывают, разрезают, свертывают в цилиндр, нагревают в устройстве 13 и формируют в выдвной форме 14

Возможность отдельного формирования листа и полых изделий на одном заводе. Экономичность производства тонкостенных изделий. Отсутствие проблем, возникающих при литье под давлением и экструзии заготовок

Необходимость дополнительного нагрева материала, так как процесс двустадийный. Зависимость глубины входного отверстия от толщины формируемого листа. Не пригодность метода для формирования толстостенных изделий; большие отходы, невысокое качество продукции



Трубчатые заготовки 15 изготавливают заранее методом экструзии, затем надевают на выдвную ниппель 16, нагревают и формируют методом выдувания

Раздельность операции экструзии и выдувания заготовок, поэтому операция выдувания не снижает производительность экструдера. Высокая производительность, небольшие отходы. Регулирование скорости экструзии, заготовки формируются без внутренних напряжений. Осуществление процессов экструзии и выдувания на одном заводе

Затруднения при регулировке толщины стенок заготовки. Увеличение расхода тепла на нагрев заготовок. Не пригодность метода при комплектовании полых изделий другими деталями. Нестабильность толщины изделий и их качества

Свойства различных материалов и ориентированных полимеров

Материал и способ его получения	Модуль упругости, ГПа	Разрывная прочность*, МПа
Монокристалл полиэтилена	240—280	13 000
Волокна полиэтилена, выращенные в ориентированном состоянии из раствора	60	4 000
Сверхвытянутое (сверхориентированное) волокно полиэтилена	70	400
Предельно ориентированное волокно:		
полипропиленовое	42	900
полистирольное (изотактический полистирол)	12	80
полиимидное	150	1200
Ориентированные ленты из полиолефинов	9	400
Полиэтиленовая пленка	0,6	10—12
Стекловолокно	120	500
Сталь углеродистая	200	500
Алюминиевые сплавы	70	90—170

* Прочность углеродных связей полимера в основной цепи — 19 000 МПа.

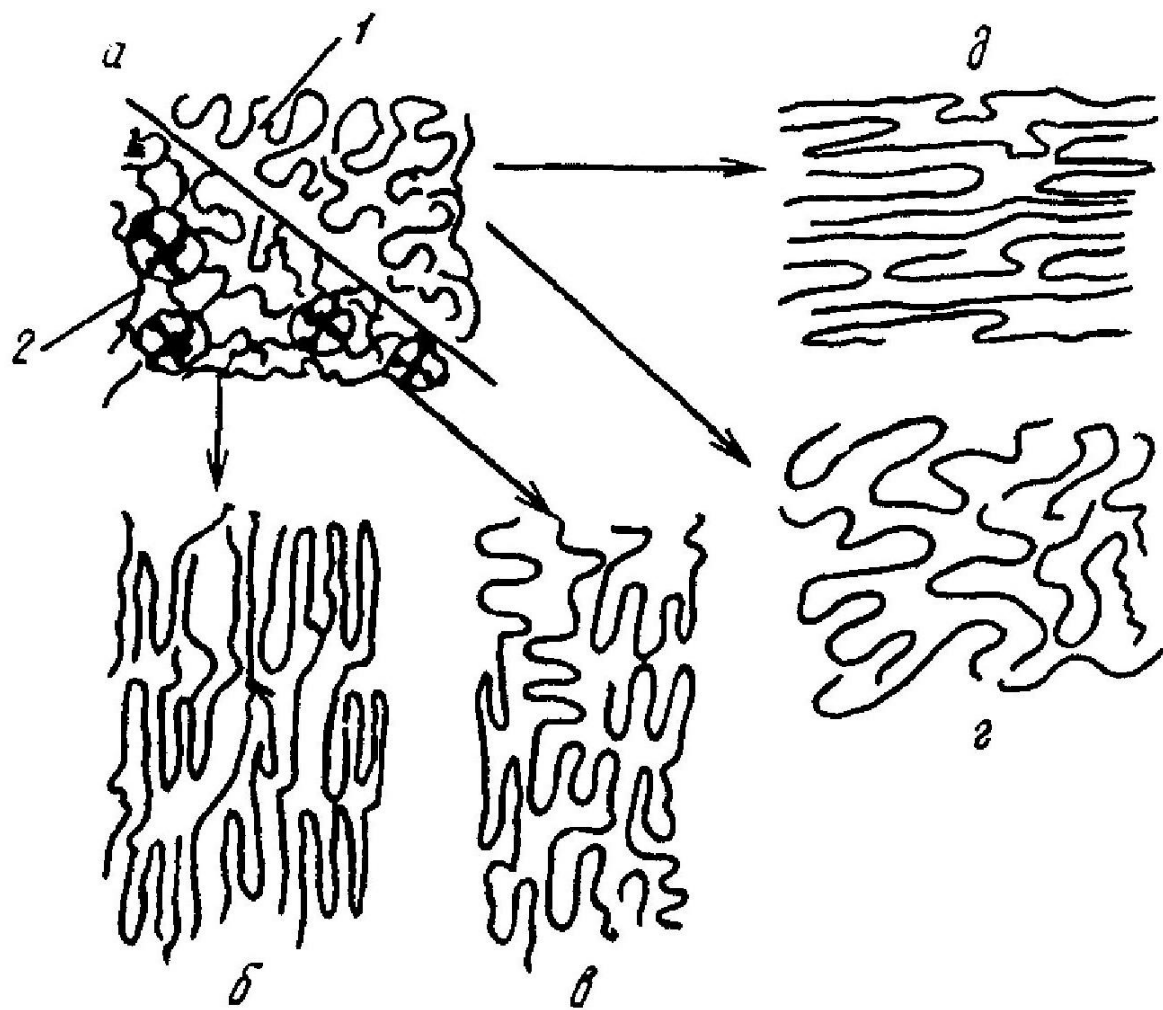


Схема образования различных структур при ориентации аморфного (1) и кристаллического (2) полимеров:
a — изотропное состояние; *б, д* — одноосно-ориентированное состояние;
в, з — неориентированное состояние

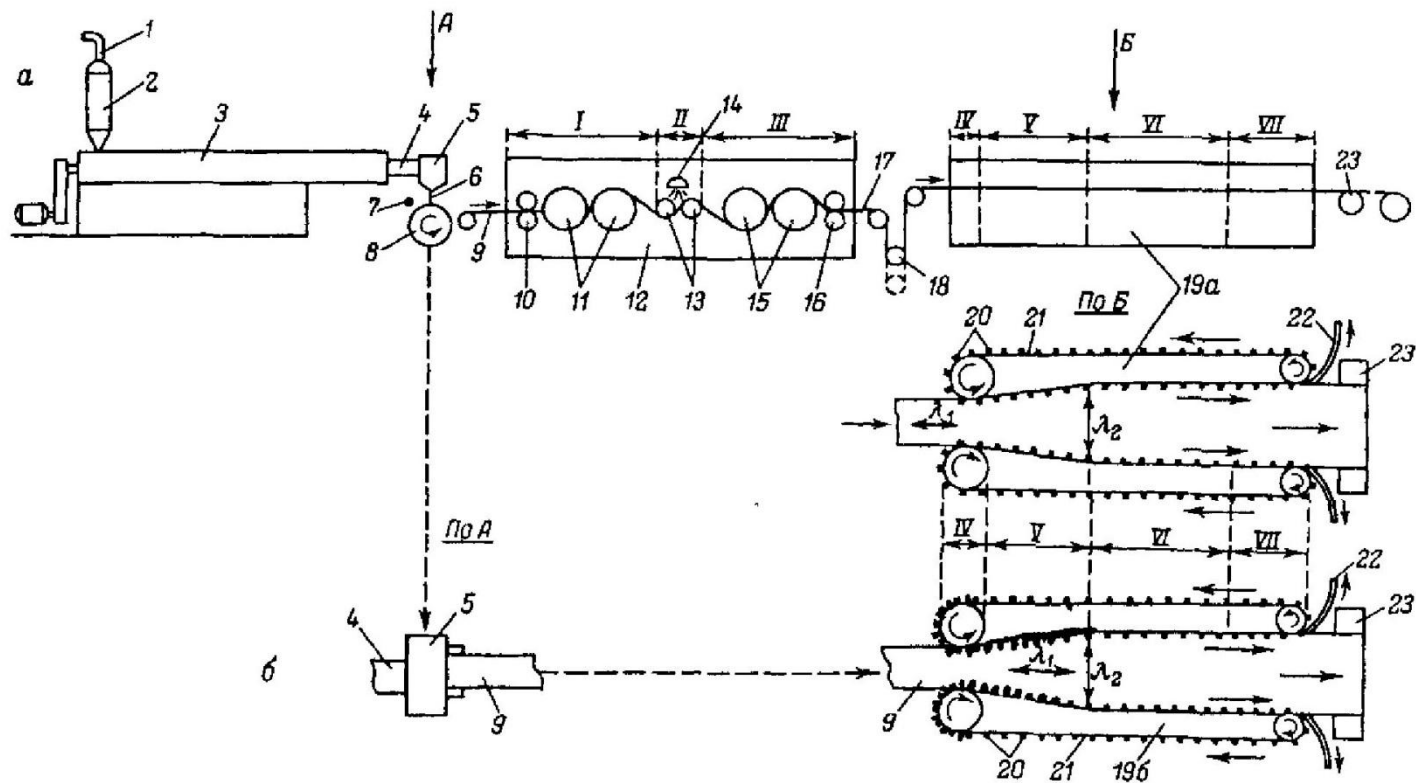
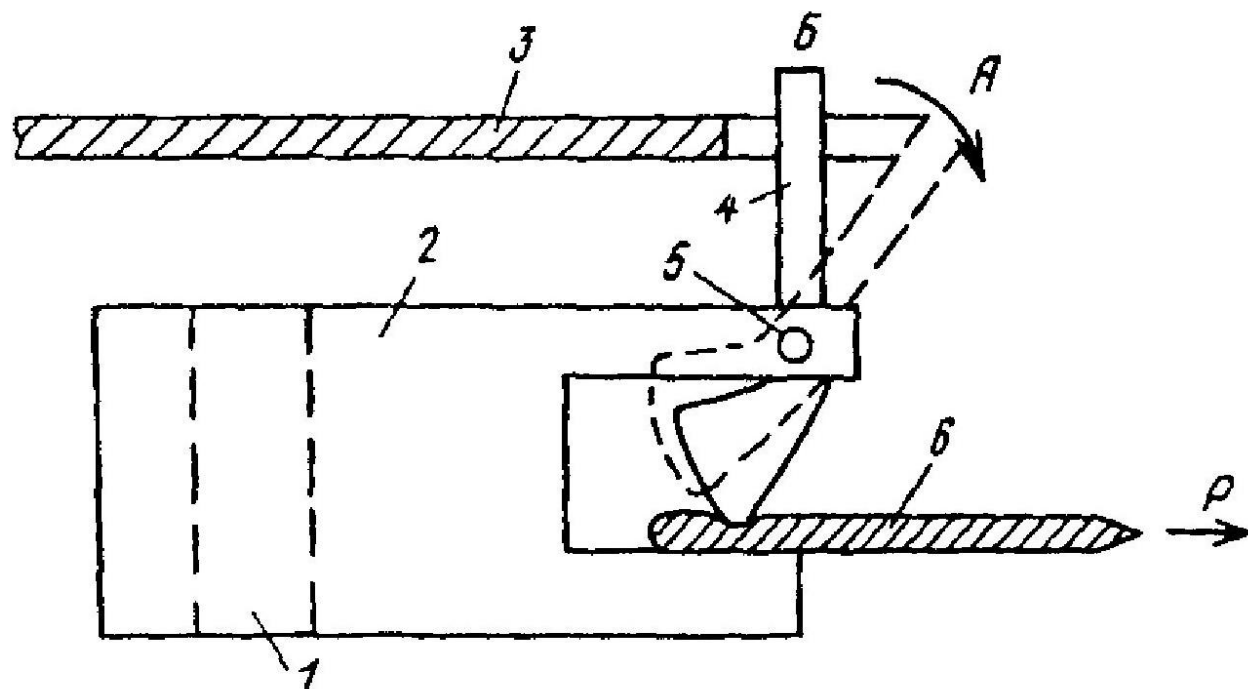


Схема одноосной, а также последовательной (раздельной) (а) и одновременной (б) двухосной ориентации плоской пленочной заготовки:

1 — патрубок пневмотранспорта; 2 — бункер; 3 — экструдер; 4 — переходник (либо насос); 5 — щелевая головка; 6 — пленочный расплав; 7 — электрод электростатического прижима пленки; 8 — охлаждающий, формирующий барабан (стрелка — направление вращения барабана); 9 — изотропная пленка; 10, 16 — прижимные валки; 11 — нагревательные, медленно вращающиеся валки; 12 — агрегат для продольной (одноосной) ориентации; 13 — ориентирующие валки; 14 — нагреватель; 15 — быстровращающиеся охлаждаемые валки; 17 — одноосно-ориентированная пленка; 18 — компенсатор; 19а — агрегат для поперечной (двухосной) ориентации; 19б — агрегат для одновременной двухосной ориентации; 20 — клуппы (зажимы); 21 — движущаяся непрерывная цепь; 22 — обрезанная кромка пленки; 23 — устройство для намотки пленки

Зоны: I — подогрева; II — ориентации; III — охлаждения с релаксацией; IV — подогрева; V — двухосной ориентации; VI — термофиксации; VII — охлаждения;

λ_1 — степень вытяжки по длине; λ_2 — по ширине пленки



Устройство клуппа:

1 — отверстие для крепления к движущейся цепи; 2 — корпус; 3 — упор-толкатель поворота язычка; 4 — язычок; 5 — вал; 6 — растягиваемая зажатая пленка;

P — сила сопротивления растяжению пленки (А — позиция язычка до, Б — после зажатия пленки)

