Модуль 4. Проектирование пресс-формы литья под давлением

Тема 4.1 Технология изготовления изделий из полимерных материалов.

Общая продолжительность изучения темы: 6 ак. часа

Продолжительность занятия: 4 ак. часа

Лекция. Вопросы, выносимые на занятие: Полимерные материалы. Этапы изготовления изделий из полимерных материалов. Основные элементы и этапы проектирования пресс-формы.

Содержание лекции:

2. Этапы изготовления изделий из полимерных материалов

Технология изготовления изделий из полимерных материалов включает следующие основные стадии:

а) приготовление материала на основе исходного полимера и подготовка его к формованию (например, таблетирование);

б) формование полученного материала и изготовление из него изделий или полуфабрикатов;

в) последующая обработка с целью улучшения свойств полимера или изделия (термическая обработка, механическая обработка, сварка и др.).

Способы формования изделий из полимерных материалов зависят от их отношения к нагреву, т.е. от того, являются они термопластами или реактопластами. Рассмотрим более подробно те способы, которые наиболее часто применяются в промышленном производстве.

Прямое (компрессионное) прессование - самый распространенный способ переработки пластмасс (преимущественно - термореактивных).

Прессование включает следующие операции: дозировку прессовочного материала, загрузку его в пресс-форму, закрытие пресс-формы, выдержку изделия в пресс-форме при повышенной температуре (130-190 °С) и под давлением (20-60 МПа) для осуществления реакции поликонденсации, разъем пресс-формы, извлечение изделия, очистку и подготовку пресс-формы для следующей запрессовки, очистку изделия от заусенцев.

Увеличению производительности прессования способствуют предварительные нагрев прессовочных материалов и их таблетирование.

Для переработки термопластичных материалов метод прессования используется значительно реже, так как в этом случае после каждой

запрессовки прессуемое изделие нужно охлаждать в пресс-форме до полного затвердевания, что резко снижает производительность установки.

Прессованием получают также многие слоистые материалы, представляющие собой ткань, бумагу или древесный шпон, пропитанные раствором фенолоальдегидной или карбамидной смолы и спрессованные в листы, трубки или другие профили. Смолу растворяют в спирте или другом растворителе и полученным раствором пропитывают ткань, бумагу или древесину, которые затем высушивают в сушильных камерах. Из высушенного материала делают заготовки, складывают их в пачки и прессуют горячим способом в листы или профили. Одновременно с прессованием происходит отверждение смолы, которая прочно склеивает слои пропитанного материала. Таким способом получают текстолит (наполнитель - хлопчатобумажная ткань), стеклопластики (наполнитель - стеклянная ткань), гетинакс (наполнитель - бумага).

Для осуществления прямого прессования используют различные гидравлические и механические прессы. Достоинства метода - простая конструкция пресс-форм и сравнительно малая стоимость оборудования. Прессованием можно получать изделия несложной формы, разнообразных размеров и толщины.

К недостаткам прямого прессования относятся низкая производительность, трудность достижения высокого уровня автоматизации (периодический процесс) и прессования изделий сложной конфигурации, с глубокими несквозными отверстиями.

Литьевое прессование применяется для переработки термореактивных и термопластичных материалов. От прямого прессования оно отличается тем, что загрузочная камера (тигель) отделена от формующей полости пресс-формы, а перед заполнением формы пресс-материалом формующая полость находится в замкнутом состоянии. Материал, загруженный в камеру, прогревается до вязкотекучего состояния и с помощью пуансона продавливается через каналы (литники) в формующую полость пресс-формы,

где он дополнительно прогревается. Этим способом можно перерабатывать термореактивные (при 140-200 °С) и термопластичные материалы (при 30-50 °С).

Основными преимуществами литьевого прессования по сравнению с прямым являются: возможность изготовления более сложных деталей; более короткий цикл прессования; отсутствие больших внутренних напряжений в изделиях; большие точность размеров деталей и срок службы пресс-форм. В то же время пресс-формы этого типа сложнее и дороже, чем пресс-формы для прямого прессования.

Литье под давлением (инжекционное прессование) основано на том же принципе, что и литьевое прессование.

Разница состоит в том, что материал нагревается до вязкотекучего состояния в нагревательном элементе и выдавливается (впрыскивается) плунжером через сопло в охлаждаемую пресс-форму.

Этим методом перерабатывают в основном термопластичные пластмассы (полиэтилен, полистирол, полиамиды). Литье под давлением высокопроизводительно, им можно получать изделия массой от долей граммов до десятков килограмм. Литье под давлением из термореактивных материалов возможно, но для этого требуются специальные машины.

Литье под давлением имеет короткий цикл формования, что позволило полностью автоматизировать процесс. При этом методе не требуется таблетирования материала, до минимума сокращается механическая обработка готовых деталей. Современные конструкции литьевых машин позволяют получать изделия двух и более цветов, пористые с различной плотностью но сечению, многослойные и др.

Недостатки литья под давлением - высокая стоимость формующего инструмента, сравнительно низкая производительность при изготовлении армированных изделий и изделий сложной конфигурации.

Экструзия (шприцевание или выдавливание) - процесс получения профилированных изделий большой длины (трубы, стержни, ленты, нити)

непрерывным или периодическим выдавливанием. Шприцевание выполняется на экструдерах, основной рабочей деталью которых является винт (червяк, шнек), или на гидравлических прессах, имеющих поршень (плунжер), совершающий возвратно-поступательное движение. Методом экструзии можно перерабатывать большинство термопластичных материалов.

В промышленности наиболее широкое применение получили одночервячные экструдеры.

После выхода из экструдера некоторые виды профилированных материалов подвергаются таким операциям, как охлаждение, вытяжка, намотка, обрезка. Для их осуществления экструдеры дооборудуют соответствующими механизмами (тянущими, охлаждающими, устройствами для намотки и обрезки). В отдельных случаях вытяжку совмещают с намоткой, например, при производстве нитей или листового материала.

Методом выдавливания перерабатывается в полимерные пленки большинство синтетических полимеров, для чего используют экструдеры с кольцевой или плоскощелевой головкой. В первом случае расплав полимера экструдируется в виде рукава, который растягивается сжатым воздухом. Рукавный способ - наиболее производительный и экономичный метод изготовления полимерных пленок. Плоскощелевой способ позволяет формовать полимерные пленки, которые в некоторых случаях дополнительно подвергаются разглаживанию на гладильных валках. Он предпочтительнее в тех случаях, когда требуется получить равнотолщинную пленку с высоким качеством поверхности.

Экструзией можно получать объемные, многослойные и вспененные изделия с поверхностью, имитирующей различные декоративные материалы; непрерывные изделия - пленки, профили самого разнообразного типа, листы, трубы и шланги, наносить покрытия из пластмассы на проволоку. Масса погонного метра изделий, изготовленных методом экструзии, может составлять от нескольких граммов до 100 кг и более. Им получают пленки

шириной до 25 м и трубы диаметром до 1,2 м. Производительность крупных экструдеров достигает 3-3,5 т/ч, степень автоматизации производства также достаточно высока.

Недостатки экструзии - сложность управления процессом и высокая стоимость оборудования.

Листовое формование предназначено для получения из листов термопластичных материалов изделий коробчатой формы или профилированных листов. Формование этим способом осуществляется путем штампования, сжатым воздухом (пневмоформование), вакуумом (вакуум-формование). Формование из листов является единственным методом изготовления изделий с большой поверхностью и малой толщиной стенки.

Кроме термопластов, методом штамповки могут перерабатываться и слоистые термореактивные пластики, например, на основе фенолформальдегидных смол, модифицированных частично термопластичными полимерами. Таким способом, в частности, производятся декоративные бумажно-слоистые пластики, в том числе и огнестойкие.

При вакуум-формовании в полости между листом и поверхностью формы создается разрежение, а размягченный материал формуется в изделие с помощью наружного атмосферного давления. Методом вакуум-формования перерабатывают многие виды листовых материалов: полистирол, виниловые полимеры, полиакрилаты, эфиры целлюлозы, поликарбонаты и др.

Выдувание можно считать разновидностью листового формования, его применяют для формовки преимущественно полых изделий из термопластичных материалов. Заготовка (нагретая трубка или два листа) помещается между двумя половинками разъемной металлической формы, имеющей отверстия (сопла) для подвода горячего воздуха, который нагнетается в трубку или между листами. Размягченная заготовка под давлением воздуха вытягивается и заполняет форму. Этим способом получают изделия из полиэтилена, полистирола, полиакрилатов и др.

Каландроваиие (обработка полимерных материалов на каландрах) по своей сути аналогично прокатке при обработке металлов давлением.

Каландрованием получают полуфабрикаты в виде гладких или профилированных листов, лент, периодических профилей. На каландрах производится также обрезинивание тканей для приводных ремней и транспортерных лент.

Прокатка наиболее широко применяется для производства слоистых композиционных материалов на основе полимеров.

Полив раствора полимера на холодную или нагреваемую полированную поверхность - один из первых промышленных методов получения полимерных пленок и листов. В настоящее время он имеет ограниченное применение. Этим методом производятся главным образом пленки на основе целлюлозы и ее производных, а также из некоторых термореактивных полимеров. Он состоит из приготовления раствора, полива его на гладкую полированную поверхность барабана или металлической бесконечной ленты и отделения растворителя от листа или пленки. Полученное изделие подвергают термической обработке для снятия внутренних напряжений.

Макание можно считать разновидностью предыдущего метода, когда тонкостенные изделия, например медицинские перчатки, получают по заранее подготовленной модели многократным ее окунанием в ванну с латексом. Этот метод применяется также для изготовления других резиновых санитарно-гигиенических изделий.

Латекс представляет собой водную дисперсию синтетических полимеров, главным образом каучуков. Он образуется при полимеризации соответствующих мономеров в водной среде или при эмульгировании в ней растворов полимеров в органических растворителях (синтетические латексы последнего типа называются искусственными).

Механическая обработка пластмасс похожа на обработку металлов резанием, однако вследствие меньшей твердости пластмасс по сравнению с

металлами их обработку проводят при большей скорости подачи соответствующих инструментов (резцы, сверла и т.д.). Из методов обработки резанием для обработки пластмасс используют точение, шлифование, полирование, фрезерование, сверление и т.д.

Механической обработке подвергают в основном термореактивные или блочные пластмассы, такие как фторопласт. Ее используют при изготовлении мелкосерийной или опытной продукции, а также для удаления заусенцев, литников с изделий, полученных, например, прессованием и литьем. Поверхности прессованных и литьевых деталей после снятия заусенцев, как правило, полируют.

Достаточно распространенной операцией является сверление отверстий, так как глубокие или боковые отверстия, а также отверстия малого диаметра трудно получить при прессовании.

Обрезке подвергают листовые материалы после их прессования (этим их обработка и ограничивается). Для шлифования используют шлифовальные пасты, наносимые на фетровые или войлочные диски станков, шлифовальных шкурок и камней на обычных шлифовальных станках. Полирование проводят на хлопчатобумажных или суконных кругах с применением или без применения полировочных паст.

Сварка пластмасс - процесс неразъемного соединения термопластов и реактопластов, в результате которого исчезает граница раздела между соединяемыми деталями.

Выбор способа сварки зависит от материала, подлежащего сварке, типа конструкции или изделия, их назначения и условий эксплуатации.

Сварку термопластов производят с использованием тепла посторонних источников нагрева (газовых теплоносителей, нагретого присадочного материала или инструмента) либо с генерированием тепла внутри пластмассы при преобразовании различных видов энергии (сварка трением, токами высокой частоты, ультразвуком, инфракрасным излучением и др.).

Соединение реактопластов осуществляют способом, основанным на химическом взаимодействии между поверхностями - непосредственно или с участием присадочного материала (так называемая химическая сварка). Сварка этим способом требует интенсивного прогрева поверхностей и интенсификации колебаний звеньев молекул полимера токами высокой частоты или ультразвуком.

Среди различных способов сварки наибольшее распространение получили: сварка с применением газовых теплоносителей; сварка при нагреве трением; сварка контактным нагревом; сварка токами высокой частоты.

При сварке с применением газовых теплоносителей используются воздух или инертные газы, подогретые при прохождении через электронагревательные элементы. Теплоноситель прогревает термопласт в месте сварки до необходимой температуры вместе со сварочным прутком из того же материала, чем и обеспечивается сварка. Термопласты, чувствительные к кислороду воздуха (например, полиамиды), сваривают подогретым азотом. Этот вид сварки применяется в основном при изготовлении изделий из толстых листов или для сварки массивных деталей, отлитых методом литья под давлением.

Применяется два способа сварки при нагреве трением. Первый из них состоит в следующем: свариваемые детали (обычно небольшой длины) располагают на станке соосно, одну из них закрепляют неподвижно, а другую вращают вокруг общей оси. При трении сопряженных торцевых поверхностей выделяется тепло, достаточное для сварки давлением без расплавления полимера. При достижении заданной температуры вращающаяся деталь мгновенно останавливается, и сварное соединение образуется при естественном охлаждении свариваемых поверхностей. При применении второго способа детали закрепляют неподвижно, а между ними вращается вставка вокруг общей оси свариваемых деталей. Дальше процесс сварки осуществляется так же, как и первым способом. Сваркой при нагреве

трением обычно соединяют детали прутков и труб. Давление, возникающее в плоскости трения, достигает примерно 0,5-0,8 МПа при скорости вращения до 30 м/мин. С момента возникновения трения и до остановки станка проходит 3-25 секунд, шов затвердевает через 5-8 мин после остановки вращения детали.

Сварка контактным нагревом применяется для сваривания термопластичных материалов, не свариваемых токами высокой частоты (полиэтилен, полипропилен, фторопласты). При такой сварке соединение деталей происходит в результате нагрева свариваемых поверхностей специальными инструментами с последующим их сдавливанием. Образующиеся при этом швы не уступают по прочности материалу изделия. Данный метод нашел широкое применение при декоративной отделке конструкций и изделий, их клеймении и маркировке, для изготовления труб из листового полиэтилена, приварки фланцев к полиэтиленовым трубам, полок и ребер жесткости к листам и плитам. Применяется такая сварка и при производстве толстостенных изделий из полиамидов и полиуретанов.

При сварке токами высокой частоты электрическое поле генерируется с помощью специальных электродов, одновременно являющихся зажимами для свариваемых изделий. Этими же электродами-зажимами создается необходимое давление. Данный метод применяется для сваривания материалов, которые плохо проводят электрический ток и тепло. Высокочастотное поле вызывает межмолекулярное взаимодействие по всей толщине материала, что приводит к равномерному его прогреванию. Основным преимуществом высокочастотной сварки является ее быстрота. Например, для сварки двух листов поливинилхлорида толщиной 2 мм достаточно 5 секунд.

2.1 Литье под давлением

Литье под давлением – процесс, во время которого материал переводится в вязко-текучее состояние и затем впрыскивается под давлением в форму, где происходит оформление изделия.

Методом литья под давлением производят штучные изделия массой от долей грамма до десятков килограммов. Этот способ является наиболее распространенным в переработке большинства промышленных термопластов. Кроме того, литьем под давлением производят изделия армированные, гибридные, полые, многоцветные, из вспенивающихся пластиков и др.

Основным оборудованием процесса является термопластоавтомат, оснащенный пресс-формами (рис. 1).

Рис. 1. Термопластоавтомат фирмы Engel.

Отличительной особенностью метода является его цикличность, что ограничивает его производительность.

К основным достоинствам литья под давлением относятся:

- универсальность по видам перерабатываемых пластиков,
- высокая производительность,
- высокое качество получаемых изделий,
- возможность изготовления деталей весьма сложной конфигурации или тонкостенных изделий,
- отсутствие дополнительной обработки конечного продукта (за исключением операции удаления литников),
- полная автоматизация процесса.

Недостатки метода:

- литьевые машины являются сложными и недешевыми устройствами, насыщенными современными техническими решениями;
- применение термопластоавтоматов для реализации конкретного технологического процесса требует квалифицированного технико-экономического обоснования.

Принципиально, суть технологии литья под давлением состоит в следующем (рис. 2). Расплав полимера подготавливается и накапливается в материальном цилиндре литьевой машины (в данном случае - червячного типа) к дальнейшей подаче в сомкнутую форму (позиция а).

Затем материальный цилиндр смыкается с узлом формы, а пластикатор (в нашем случае - невращающийся червяк) в процессе осевого движения перемещает расплав в форму (позиция б). В результате чего форма заполняется расплавом полимерного материала, а пластикатор смещается в крайнее левое (на рисунке) положение (позиция в).

Далее расплав в форме застывает (или отверждается - в случае реактопластов) с образованием твердого изделия (позиция г). Материальный цилиндр продолжает оставаться в сомкнутом с системой формы положении. В этой ситуации червяк начинает вращаться с заданной скоростью, подготавливает и транспортирует расплав в переднюю зону материального цилиндра и при этом отодвигается назад. В конце накопления требуемого объема расплава вращение червяка прекращается. Он занимает исходное положение.

После завершения процесса затвердевания (отверждения) пластмассы форма размыкается, и изделие удаляется из нее (позиция д). Для облегчения съема изделия материальный цилиндр может к этому моменту отодвинуться от узла формы. Далее цикл литья под давлением повторяется.

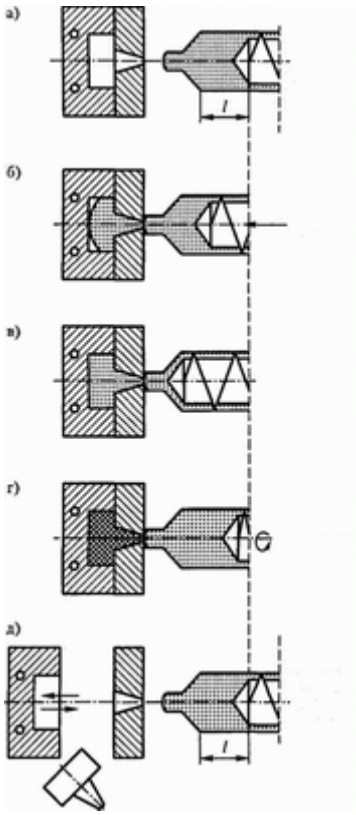

Рис. 2. Принципиальная схема процесса литья под давлением.

Процесс литья под давлением можно разбить на следующие стадии:

1. Дозирование материала и загрузка его в цилиндр.

2. Пластикация материала.

3. Впрыск пластифицированного материала в сомкнутую форму и выдержка его под давлением.

4. Охлаждение изделия в форме.

5. Размыкание формы и удаление изделия из неё.

К технологическим параметрам литья под давлением относятся: температура пластикационного цилиндра, температура формы, удельное давление литья и продолжительность стадий цикла.

Температура пластикации должна быть выше температуры текучести полимера на 10 – 20°С. При более высоких температурах уменьшается вязкость расплава, облегчаются условия формования, повышается производительность литьевой машины, но увеличивается скорость термической и термоокислительной деструкции.

Температура формы должна быть меньше температуры размягчения полимера, но слишком низкая температура формы может быть препятствием к нормальному её заполнению при впрыске.

Выбор оптимальной температуры определяется способностью полимера к кристаллизации, скоростью кристаллизации, его теплофизическими свойствами, а также конструктивными особенностями формы, давлением литья и температурой поступающего в форму расплава.

Время цикла формования определяется временем пластикации материала, временем впрыска материала в форму и выдержки под давлением, временем охлаждения изделия в форме.

Время пластикации зависит от теплопроводности полимера и характеристик нагревательного цилиндра. На общее время цикла почти не влияет.

Стадия выдержки под давлением заканчивается в момент застывания расплава в впускных каналах. Затрачиваемое время зависит от температуры расплава и формы, а также от формы и размеров литниковой системы.

Время охлаждения определяется температурой расплава, формы и объемом отливки. Вносит наибольший вклад в общее время цикла.

Усилие смыкания формы и удельное давление литья характеризуют конструктивные особенности узла смыкания (рис. 3) и определяют возможность изготовления изделия на данном термопластоавтомате и максимальную площадь отливаемого изделия.

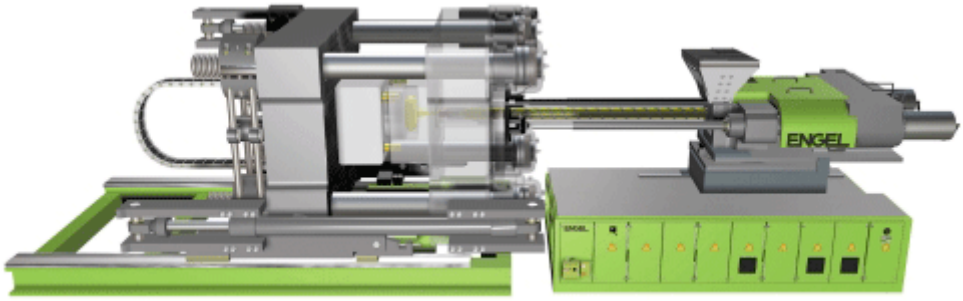

Рис. 3. Узел смыкания и впрыска.

Основную часть отходов при литье под давлением составляет материал, застывший в литниковых системах. Для уменьшения литниковых отходов в настоящий момент производители используют «горячеканальные» формы, которые дают также ряд других преимуществ.

Все отходы литьевого производства могут быть использованы для вторичной переработки.

Многокомпонентное литье является универсальной технологией литья под давлением, популярность которой все время растет. Она обеспечивает большие возможности при конструировании и экономичном изготовлении многоцветных или многофункциональных устройств, применяется при создании изделий с многоцветными узорами, при изготовлении конструктивно сложных изделий, состоящих из нескольких различных полимерных материалов (рис. 4), при литьевой сборке изделий с подвижным и неразъемным соединением отдельных деталей.

Рис. 4. Примеры изделий, полученных методом многокомпонентного литья.

Технология многокомпонентного литья предлагает новые возможности, которые позволяют комбинировать несколько термопластов внутри литьевой формы, что приводит к устранению необходимости следующей сборки изделия и снижению общих затрат на производство. Например, проблему износа компьютерных клавиш с нанесенными символами можно преодолеть с помощью многокомпонентных решений, смысл которых заключается в том, что символы выполняются из другого или из того же материала, но отличающегося по цвету, и впрыскиваются непосредственно в корпус клавиши. В автомобильной промышленности часто используются комбинации из полиамида (PA) и термопластичного

эластомера (TPE), имеющие своей целью исключение дорогостоящих и сложных этапов сборки.

Инструменты и установки для решений многокомпонентного литья являются более сложными, нежели те, которые используются для литья однокомпонентных деталей. Однако экономия затрат, достигнутая за счет упрочнения конструктивных элементов или минимизации расходов на сборку, делают эту технологию рентабельной.

Более того, возможность изготовления многокомпонентных изделий на одной машине устраняет необходимость перемещения деталей при выполнении разных технологических процессов, а это приводит к экономии на перемещении, устранению потерь во время сборки и экономии производственных площадей.

К недостаткам процесса следует отнести необходимость дополнительных вложений для использования более сложных литьевых форм и узлов впрыска, а также необходимость приобретения специальной системы управления. Однако следует заметить, что стоимость оборудования для многокомпонентного литья снижается в результате того, что производители машин делают литьевые машины модульными.

Задачей многокомпонентного литья является автоматическое производство изделий из более, чем одного полимерного компонента в рамках одного рабочего цикла. В данном процессе каждый цвет или компонент четко разграничен друг от друга; последующий компонент впрыскивается поверх предыдущего. Многоцветное литьё может предусматривать два, три или четыре компонента. При этом значительно увеличивается сложность конструкции пресс-формы. Для сложных конфигураций стыковки компонентов часто используют пресс-формы с поворотными модулями.

В процессе многокомпонентного литья под давлением происходит впрыск расплава разных полимеров на разных стадиях процесса с использованием различных матриц, пуансонов или формующих полостей

различной геометрической формы. Фактически сначала отливается пластмассовая вставка, которая затем перемещается в другую формующую полость, в которой ее заливают другим полимером. В литьевых формах происходит своеобразная сварка: вторая часть – из другого термопласта – «наплавляется» на первый после того, как форма или какое-то из изделий произведет необходимое перемещение. Форма второй полости определяется формами вставки и конечного изделия. Соединение двух различных материалов может быть осуществлено за счет механического сцепления, термического или химического сваривания.

К настоящему времени разработаны и успешно в промышленных масштабах применяются несколько способов литья под давлением многокомпонентных изделий различного назначения. Реализация любого из таких способов требует специально сконструированных литьевых машин с двумя или более узлам впрыска. Каждый из этих узлов пластицирует и впрыскивает один из компонентов, например, термопласты различных цветов, марок и т. п. Различают следующие варианты технологий многокомпонентного литья в зависимости от применяемых оборудования и оснастки:

1. Технология перемещения заготовки переносом – предварительно изготовленная в оформляющей полости одной литьевой формы заготовка вручную или с помощью робота переносится в другую оформляющую полость этой же литьевой формы или передается на другие ТПА и форму.

2. Технология перемещения заготовки поворотом – перемещение предварительно отлитой заготовки в литьевой форме за счет поворота блока формы вокруг горизонтальной или вертикальной оси.

3. Технология совмещенного литья двух компонентов – одновременная или со сдвигом во времени подача расплавов двух компонентов в одну и ту же полость литьевой формы.

4. Технология последовательного литья – последовательная подача расплавов двух компонентов в оформляющую полость литьевой формы. Для

второго компонента внутри полости формы освобождается дополнительное пространство путем удаления специальной заслонки или знака.

5. Технология многослойного литья изготовление многослойных изделий (чаще трехслойных изделий из двух различных ПМ), имеющих структуру «ядро–оболочка».

В технологии переноса заготовки сначала отливается вставка, которая затем устанавливается во вторую литьевую форму, где заливается вторым полимером (рис. 5). Однако к недостатку данной технологии относится включение дополнительных операций по перемещению и установке вставки во вторую литьевую форму. Тем не менее операции по установке и извлечению вставки, а также литьевое оборудование могут быть оптимизированы за счет использования управляемых роботизированных или автоматизированных комплексов.

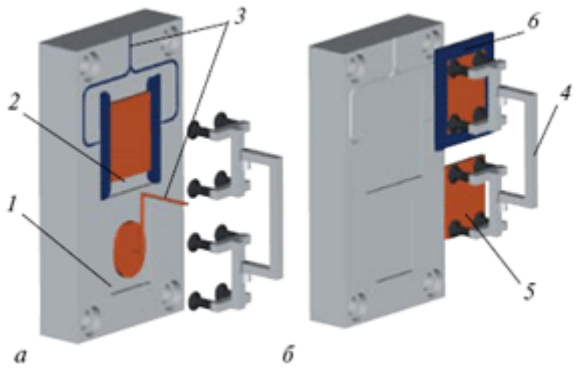

Рис. 5. Схема двухкомпонентного литья изделий в одной литьевой форме с переносом заготовки:

а – одновременное литье первого и второго компонентов в оформляющие полости; б – перенос заготовки в оформляющую полость и удаление готового изделия;

1, 2 – оформляющие полости; 3 – литник; 4 – робот; 5 – заготовка; 6 – готовое изделие (источник: Demag).

Часто используемым вариантом многокомпонетного литья является технология перемещения заготовки поворотом. После того как вставка отлита, гидравлический или электрический сервопривод поворачивает матрицу и изделие на 180 градусов (или на 120 градусов для изделия из трех

материалов) для нового впрыска (рис. 6). Это наиболее быстрый и наиболее часто используемый способ, потому что две или три детали могут быть изготовлены в течение одного цикла.

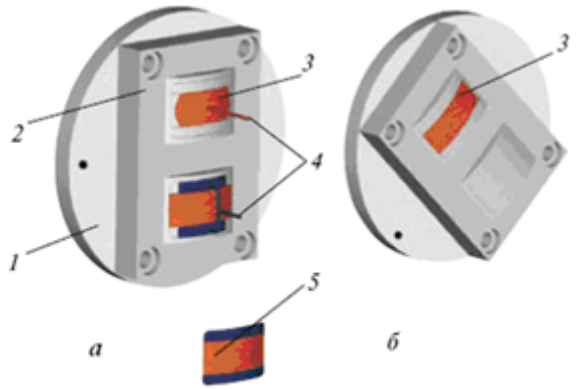

Рис. 6. Схема двухкомпонентного литья в форме, установленной на вращающемся столе, встроенном в ТПА:
а – 1-я позиция; б – поворот во 2-ю позицию;
1 – поворотный стол; 2 – форма; 3 – заготовка; 4 – литники; 5 – готовое двухкомпонентное изделие (источник: Demag).

Технология последовательного литья заключается в автоматическом расширении формующей полости за счет подвижных пуансонов в момент, когда вставка находится в литьевой форме. Если быть более точным, то пуансон смещается (отходит) во время затвердевания вставки, чтобы создать свободное пространство для впрыска другого материала в ту же формующую полость (рис. 7). Литье в многокомпонентные формы (Multi-component injection molding) позволяет получать изделия с четким разделением цветов, а также детали гибридной конструкции, в которых из каждого полимерного материала исполнена центральная или периферийная часть. В этом случае инжекционные узлы выполняют традиционные функции, а конструкция детали определяется устройством литьевой формы.

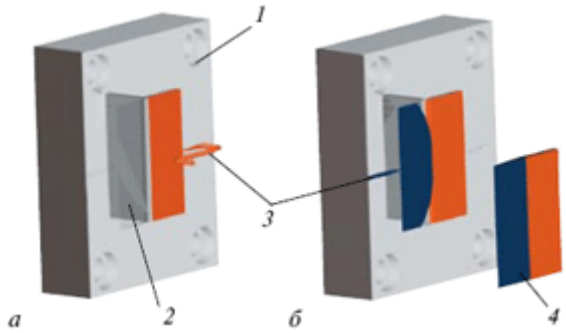

Рис. 7. Схема последовательного двухкомпонентного литья: а – впрыск 1-го компонента; б – впрыск 2-го компонента;
1 – форма; 2 – разделительный элемент; 3 – литники; 4 – готовое изделиес четкой разграничительной линией между двумя компонентами (источник: Demag).

Для литья двухцветных изделий применяют червячные и поршневые литьевые машины. При этом возможны две схемы работы машины. Одна схема предусматривает возможность частичного или значительного смешения термопластичных материалов различного цвета, поскольку эти материалы одновременно или последовательно впрыскиваются в одну общую форму из одного или двух инжекционных цилиндров. Другая схема предусматривает четкое разделение материалов различной окраски. При этом материалы различного цвета поочередно впрыскиваются в форму ограниченного объема, где отливается первая часть изделия, а затем в форму увеличенного объема, где отливается вторая часть изделия и сваривается с ранее отлитой частью.

Выбор материалов для технологии многокомпонентного литья играет решающую роль. Необходимо провести тщательный анализ для определения их совместимости, химической устойчивости и износоустойчивости, а также возможности эксплуатации в условиях окружающей среды и соответствия другим специальным требованиям. Вязкость расплавов и значения усадки должны быть близкими. Различные комбинации материалов приводят к широкому диапазону прочности сцепления базового материала с наплавленным на него другим полимером. Можно добиваться сцепления от

нулевого уровня до прочности химической связи, когда материалы взаимодействуют на молекулярном уровне и создают сверхпрочное сцепление, которое характеризуется продолжительным сроком службы в условиях агрессивной химической или окружающей среды. Поскольку многокомпонентное литье включает в себя сцепление различных материалов в одном комплексном изделии, то прочность сцепления материалов играет важную роль. К факторам, которые влияют на прочность сцепления, относятся совместимость, температура технологического процесса, площадь контактных поверхностей, текстура, последовательность выполнения впрысков и конструкция деталей при их механическом сцеплении.

По технологии многокомпонентного литья можно производить изделия сложной формы с широким диапазоном применения – от электрических и потребительских товаров до различных специальных отраслей промышленности. Например, в автомобильной промышленности этим методам производят корпуса замков, вентиляционные решетки, разъемы для подушек безопасности, уплотнения дверей, линзы автомобильных фар и т.д.

В последнее время получило широкое распространение **двухкомпонентное литье**, которое заключается в последовательном и/или одновременном впрыске двух различных, но совместимых материалов – поверхностного и базового – в одну формующую полость литьевой формы. В результате получаются слоистые изделия, имеющие структуру типа «сэндвич», где базовый материал находится между слоями поверхностного. Технология обеспечивает универсальность за счет оптимального использования свойств каждого из материалов. Это позволяет снизить стоимость сырья, давление впрыска, усилие смыкания литьевой формы, а также остаточные напряжения в готовом изделии. Кроме того, она позволяет достигнуть желаемого изменения свойств отливки и/или нужных технических эффектов.

Типичный процесс многокомпонентного литья под давлением начинается с впрыска более прочного компонента, из которого образуется

наружный слой изделия. Сразу после начала впрыска этого компонента начинается впрыск другого, в том числе и вспенивающего компонента, - для заполнения центральной зоны, а затем продолжается впрыск совместно обоих компонентов. В определенный момент подача первого (для наружного слоя изделия) прекращается, а впрыск второго компонента продолжается до завершения стадии заполнения формующей полости (рис. 8). Слоеная структура отливки создается в процессе заполнения формующей полости за счет того, что разные расплавы пластицируются в разных узлах впрыска, проходят через разные системы впрыска, и поступающие в формующую полость потоки являются ламинарными. Это предотвращает смешение различных потоков - слоев и приводит к тому, что один материал становится как бы упакованным в другой с заранее рассчитанным и воспроизводимым соотношением толщин поверхностный слой/ центральная зона.

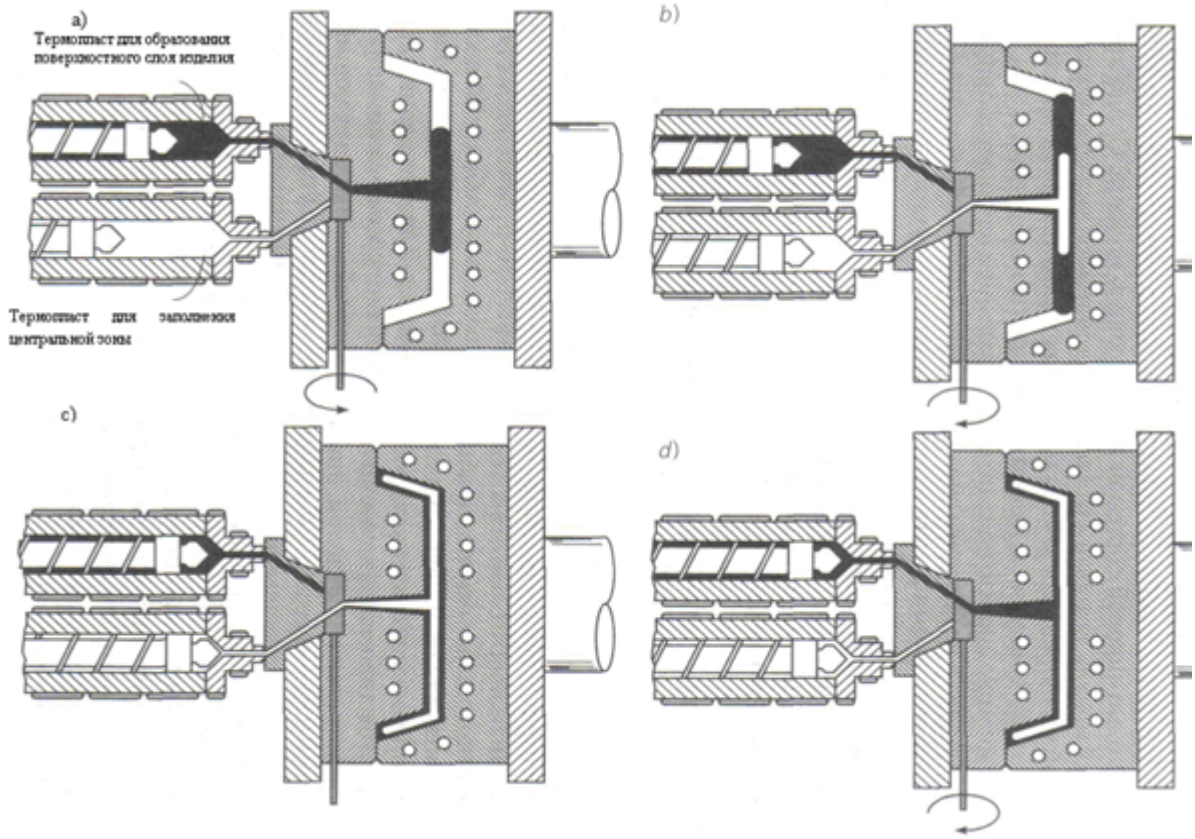

Рис. 8. Схема основных стадий многокомпонентного литья под давлением: а – на начальной стадии заполнения формующей полости осуществляется впрыск термопласта для образования поверхностного слоя изделия; b – на

промежуточной стадии впрыска термопласт, предназначенный для заполнения центральной зоны изделия, поступает в центр формующей полости; c - после завершения впрыска термопласта для центральной зоны (когда она уже почти заполнена) неповрежденный поверхностный слой равномерно покрывает массу, находящуюся в центральной зоне; d – после завершения впрыска термопласта для центральной зоны изделия, клапан возвращается в исходное положение, очищается и подготавливается к следующему циклу.

Литьевые формы, предназначенные для многокомпонентного литья, сконструированы также, как и для обычного литья под давлением. Отличия от обычных литьевых форм состоят в размещении литника и его типе. В большинстве случаев следует стремиться к равномерному распределению сердцевинных компонентов до завершения пути течения. В значительной степени на этот фактор может повлиять расположение литника.

При выборе места расположения литника следует принимать во внимание, что сначала впрыскивается определенное количество оболочного материала, и что после этого оболочный и сердцевинный материал впрыскиваются одновременно. В принципе можно использовать большинство типов литниковых каналов, однако часто возникает необходимость изменения их геометрических параметров. Допустимыми вариантами являются стержневой, щелевой, точечный и тоннельный литниковые каналы, но использование для многокомпонентного литья под давлением обычной горячеканальной литниковой системы невозможно, поскольку в этом случае в нагреваемом канале смешался бы оболочный и сердцевинный материалы.

Сэндвич-литьем производят весла для каноэ, сиденья и бачки для туалетов, корпуса компьютеров, крышки для кассовых аппаратов, корпуса для аудио- и видеоаппаратуры, кожухи для электронных и электрических схем, садовые стулья, коробки и контейнеры, обувь и подошвы для нее, ручки для малярных кистей, тонкостенные контейнеры и бутылки для

напитков, автомобильные аксессуары (корпуса для наружных зеркал, ручки и кнопки внутри салона), отдельные элементы микроволновых печей и многое другое.

Основные технологические факторы и режимы литья под давлением

Основные технологические факторы, определяющие процесс литья пластмасс:

1) подготовка материала;

2) текучесть термопласта в процессе литья;

3) температура термопласта в нагревательном цилиндре;

4) температурный режим формы;

5) давление в цилиндре и форме;

6) продолжительность цикла.

Подготовка материала. Большинство термопластов не нуждается в предварительной обработке перед загрузкой в литьевую машину, если не считать окрашивания в нужный цвет. Полиамиды, этролы и поликарбонат, способные при хранении увлажняться, необходимо подсушивать. При переработке увлажненных материалов образуются пузыри, утяжины, пятна, серебристость на поверхности изделий. Подсушивание производят непосредственно перед переработкой.

Литники, бракованные изделия и другие отходы термопластов подлежат предварительной разборке, очистке и дроблению. После этого они могут быть использованы в качестве добавок к свежему материалу.

Поведение термопласта в процессе литья. Переход аморфных полимеров в вязкотекучее состояние происходит в широком интервале температур. Подобные термопласты перерабатываются без особых затруднений. Колебания температуры расплава не вызывают резкого изменения процесса литья; термопласт не вытекает через зазоры в форме. Усадка аморфных термопластов обычно 0,4-0.6%.

В противоположность аморфным кристаллические термопласты (капрон, полиэтилен) имеют узкий интервал температур перехода в вязкотекучее состояние, низкую, вязкость и, соответственно, высокую текучесть. Это несколько усложняет их переработку, вызывает необходимость точнее поддерживать температуру расплава, делать запорные устройства к мундштуку, обеспечивать плотную посадку поршня в цилиндре. Термопласты кристаллического строения при затвердевании имеют значительно большую усадку, доходящую до 3%. Чем выше температура термопласта, тем больший объем он занимает и тем больше усадка при охлаждении. Кроме термической усадки может происходить усадка вследствие изменения структуры полимера. Усадка проявляется не только в изменении размеров, но и в появлении углублений, внутренних пустот. Чем ниже температура термопласта и чем выше давление в процессе литья, тем меньше усадка, тем больше плотность материала в изделии.

Температурный режим нагревательного цилиндра. Нагревательный (инжекционный) цилиндр является основным технологическим узлом машины, определяющим ее производительность и качество изделий. К нагревательному цилиндру предъявляются следующие требования:

- высокий коэффициент теплопередачи от источников нагрева к материалу при небольших разностях температур стенок цилиндра и материала;
- равномерный нагрев материала и отсутствие местных перегревов.

Эти требования должны быть учтены при его конструировании. Используются различные варианты: нагревательный цилиндр с торпедой, нагревательный цилиндр с внутренней обогревающей гильзой. Хорошие результаты дает шнековая предпластикация, особенно в машинах большой мощности, где необходим прогрев значительных количеств пластмассы. Вращением шнека пластмасса увлекается из зоны бункера, уплотняется и разогревается при транспортировании к соплу. Разогрев пластмассы осуществляется в благоприятных условиях (несколько зон нагрева, малые

толщины нагреваемого слоя, перемешивание). При шнековой пластикации уменьшается удельное давление литья. Эти конструктивные решения позволяют улучшить технологию литья, увеличить производительность машины и снизить расход электроэнергии.

Температурный режим формы. Режим охлаждения изделия в форме влияет как на производительность машины, так и на качество изделий. Интенсивное охлаждение увеличивает производительность машины, но может привести к снижению качества изделий из-за появления внутренних напряжений. Чем выше температура затвердевания термопласта, тем выше должна быть температура формы.

Температура формы перед заполнением обычно ниже температуры литья на 100–150 град.

Практика показала также, что наличие разности температур на формующих поверхностях в различных точках формы вредно сказывается на качестве изделий. Оптимально допустимый перепад температур на поверхности формы не должен превышать 5–6 град. Отсюда вытекает необходимость установки контрольных и регулирующих приборов температуры формы.

Давление в цилиндре и форме. Давление на материал создается поршнем нагревательного цилиндра.

Под давлением поршня материал проходит через нагревательный цилиндр, каналы формы и заполняет полость формы. По мере продвижения материала к полости формы давление уменьшается из-за противодействия сил трения. Давление, испытываемое расплавом в форме, всегда меньше давления, создаваемого поршнем. В процессе отливки и затвердевания изделия давление еще больше уменьшается. В зависимости от условий проведения процесса литья давление в форме к моменту ее открытия становится равным атмосферному или несколько больше его (остаточное давление).

Максимальное давление в форме создается в конце хода поршня вперед и

зависит от давления поршня, температуры расплава и сопротивления продвижению материала. Сопротивление обусловливается вязкостью термопласта, сужением и расширением материального потока, шероховатостью поверхностей, ограничивающих поток расплава, и др. Поэтому для создания максимального давления в форме необходимо стремиться к увеличению давления поршня, увеличению температуры расплава, сокращению длины литниковых каналов, увеличению их сечения, уменьшению шероховатости поверхности цилиндра, введению в пластмассу смазывающих веществ.

Иногда при отводе формы из нее вытекает материал. Для предотвращения- этого необходима определенная выдержка материала после впрыскивания для охлаждения расплава в литниковом канале (затвердение литника, закупорка формы).

Продолжительность цикла складывается из времени смыкания формы, впрыска, выдержки под давлением и раскрытия формы. Время впрыска зависит от веса отливки, формы изделия, сечения впускных каналов, текучести термопласта, температуры и давления расплава в материальном цилиндре и интенсивности охлаждения изделия в форме. Для различных термопластов, при равных условиях, длительность впрыска разная и колеблется в пределах от 2–3 сек для полистирола и до 40–60 сек для полиамида-54 на 1 мм толщины изделия.

Чем больше отливка по весу, чем тоньше стенки изделия и сложнее его форма и чем меньше сечение впускных каналов формы, тем продолжительнее время впрыска. Чем больше текучесть термопласта и выше давление и температура расплава в материальном цилиндре машины, тем меньше время впрыска.

Время срабатывания подвижных частей (время смыкания-размыкания формы) литьевой машины зависит от производительности гидронасосов машины и конструкции узла смыкания формы.

о продолжительности цикла литья определяют производительность процесса. В связи с возрастающими потребностями в машинах высокой производительности большое значение приобретает сокращение времени срабатывания узла смыкания формы и скорости движения инжекционного цилиндра.

2.2 Формование

1) Вакуумформование – процесс формования изделий из заготовок в виде пленки или листа, нагретых до температур, при которых полимер переходит в высокоэластическое состояние. Давление, необходимое для формования изделий, создается за счет разности давлений между наружным атмосферным давлением и разряжением, создаваемым в полости между листом и поверхностью формы (до 0,07-0,085 МПа).

Основная особенность этого способа переработки полимеров заключается в том, что формование изделий осуществляется не из расплава, а из заготовок полимерного материала (листа, пленки), нагретых до размягченного состояния, которые затем приложенным усилием оформляются в изделия и затем охлаждаются при сохраняющемся усилии формования (рис. 9).

Рис. 9.Схема вакуумформования.

Методом формования изготавливают изделия различной конфигурации, имеющие одинаковую толщину всех стенок (стаканчики, крышки, ячейки для упаковки конфет или медицинских инструментов и т.д.) (рис. 10). Широко применяется вакуумформование для изготовления

тонкостенных изделий (упаковочная тара и одноразовая посуда), когда литье под давлением неприменимо из-за малой толщины стенок. Очень выгодно использовать данный метод при мелкосерийном производстве, так как технологическая оснастка намного проще и дешевле, чем литьевые формы.

Рис. 10. Стаканчики, полученные вакуумформованием.

Существенными преимуществами этого метода являются рентабельный инструмент для формования, разумная стоимость вакуумформовочных машин, возможность переработки многослойных и вспененных материалов, а также материалов с предварительно нанесенной на них печатью. Из формуемых материалов с высокой вязкостью расплава могут быть получены чрезвычайно тонкостенные изделия, в то время как при литье под давлением для таких изделий требуется гранулят с низкой вязкостью расплава. Относительно невысокие цены на оснастку дают еще одно преимущество данному методу для производства небольших партий изделий; достоинства вакуумформования для больших партий состоит в достижении очень низких толщин стенок и высокой производительности вакуумформовочных машин.

Самые маленькие по размеру детали, производство которых вакуумформованием еще экономически выгодно, это упаковка для таблеток или батареек для часов.

Недостатками метода являются:

- значительная разнотолщинность изделий, обусловленная различной степенью вытяжки;

- невозможность получения изделий сложной конфигурации;

- необходимость дополнительной механической обработки изделий;

- невозможность переработки листов толщиной более 6 мм;

- большое количество отходов (до 50%) при изготовлении изделий с большой глубиной вытяжки.

Диапазон толщин формуемых материалов от 0,05 до 15 мм, а для вспененных материалов даже до 60 мм. Любые термопласты или материалы с аналогичными свойствами являются в принципе термоформуемыми. Наибольшее распространение получили листы крупнотоннажных полимеров: ударопрочного полистирола, АБС-пластика, жесткого ПВХ, аморфного ПЭТ. Поликарбонат, ПММА, ПЭНД и ПЭВП, ПП имеют менее широкое применение.

При вакуумформовании различают следующую последовательность процессов:

- нагревание формуемого материала до температуры, при которой он способен изменять форму, то есть до температуры высокоэластического состояния (для аморфных полимеров) или до температуры приближенной к плавлению кристаллической фазы (для кристаллизующихся полимеров);
- формование на специальной оснастке;
- охлаждение в форме до температуры, при которой конфигурация отформованного изделия приобретет стабильные размеры;
- извлечение из формы изделия со стабильными размерами.

В большинстве случаев необходима последующая обработка формованного изделия, а именно: отделка (обрезка); сварка; соединение (склеивание); горячее запаивание; печать; металлизация.

Придание необходимой конфигурации изделию осуществляется или в высокоэластическом состоянии, или несколько выше температуры текучести за счет растяжения полимера, под действием нормальных напряжений. Так как в области высокоэластического состояния деформации обратимы, то в отформованном изделии наблюдаются релаксационные процессы, причем их скорость тем больше, чем выше температура, при которой эксплуатируется изделие. Релаксационные процессы, протекающие во времени, могут

привести к изменению формы изделия, особенно при повышенной температуре.

«Формоустойчивость» изделия в процессе эксплуатации определяется температурой формования и степенью вытяжки листа при формовании.

Температура формующего инструмента (матрицы, пуансона, прижимных рам) должна быть ниже температуры размягчения полимера. Излишнее снижение температуры способствует росту дефектности (морщины, складки), брака (коробление) и усадки; увеличивается доля неотрелаксировавших напряжений; при увеличений $T_ф$ выше оптимального значения происходит другое нежелательное явление: увеличивается разнотолщинность стенок изделий. Поэтому температура формы не должна быть ниже 50-70 °С, а для ускорения процесса охлаждения и повышения производительности целесообразно использовать дополнительное воздушное охлаждение или охлаждение с помощью искусственного водяного тумана.

При увеличении степени вытяжки заготовки при формовании изделия возрастает ее ударная вязкость. Однако наряду с этим возрастает и вероятность значительной термической усадки изделия. Таким образом, желательно формовать объемные изделия при таких режимах, при которых бы в меньшей степени проявлялись ориентационные процессы.

На разнотолщинность изделий влияет также и скорость формования $V_ф$. Медленная вытяжка сопровождается существенным охлаждением различных областей формуемого изделия, что ведет к увеличению разнотолщинности. Увеличение $V_ф$ способствует получению более равнотолщинных изделий.

Одна из важнейших и наиболее длительная стадия технологического процесса - разогрев заготовки. Температурное поле разогретой заготовки должно быть максимально однородным как по ее поверхности, так и по толщине, но это затрудняется вследствии низкой тепло- и температуропроводности полимеров.

Большинство машин и установок для вакуумформования оснащено тепло-радиационными инфракрасными нагревателями; температуру заготовки можно регулировать изменением интенсивности нагрева по зонам и расстояния нагревателя от поверхности листа. Кроме того, нагрев листовых заготовок (особенно большой толщины) может осуществляться в нагревателях камерного типа или контактным способом с помощью нагреваемых плит. В целом с повышением температуры формования механические характеристики готового изделия снижаются, а усадка растет.

В зависимости от характера взаимодействия формуемого материала с формой различают свободное негативное и позитивное формование листовых заготовок.

Свободное формование осуществляется без соприкосновения формуемого материала заготовки с оформляющим инструментом. Его применение ограничено изготовлением из прозрачных акрилатов крупногабаритных изделий овальной формы для обтекателей и световых фонарей с улучшенными оптическими характеристиками. При использовании метода требуется высокая равномерность нагрева заготовки с минимальной разнотолщинностью - в противном случае искажается форма изделия и его оптические характеристики. Кроме того, применение свободного формования ограничивает и глубину вытяжки.

Негативное формование (формование в матрице) позволяет получать изделия, у которых наружная поверхность соответствует геометрии внутренней поверхности матрицы. Нагретая заготовка вначале деформируется свободно, и ее толщина уменьшается относительно равномерно, однако после соприкосновения с формой температура заготовки в этой области резко понижается и дальнейшее деформирование идет неравномерно - толщина стенок и днища оказывается различной. Значительная разнотолщинность - один из существенных недостатков негативного метода формования.

Позитивное формование осуществляется на пуансоне; форму внешней поверхности пуансона повторяет внутренняя поверхность изделия. Нагретая заготовка первоначально соприкасается с верхней поверхностью пуансона; деформация этой зоны прекращается, поэтому образующееся днище имеет наибольшую толщину. Вытяжка остальной части заготовки происходит более равномерно, но, как и при негативном формовании, получение изделия большой глубины и с острыми углами затруднительно.

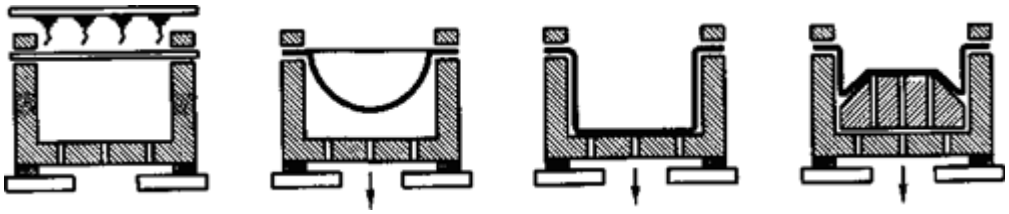

Рис. 11. Различные методы формования изделий из листов (слева направо): разогрев заготовки, свободное формование, негативное формование, позитивное формование.

Наиболее важные характеристики формы – глубина и степень вытяжки, которые обеспечивает конструкция формы. Практически этими параметрами являются высота изделия H и отношение H/W, где W– ширина изделия. Основная особенность оснастки для этого метода – наличие отверстий диаметром 0,1 – 0,5 мм или щелей в местах перегибов конфигурации изделия. Это необходимо для отвода воздуха при вакуумировании.

Охлаждение происходит при соприкосновении заготовки с холодными стенками формы. Для ускорения этой стадии применяют обдув изделия сжатым воздухом. В зависимости от метода формования и конструкции формы, охлаждение бывает односторонним или двухсторонним.

Время охлаждения зависит от температуры формы, температуропроводности полимера и толщины стенки изделия. Чем ниже температура охлаждающей поверхности, тем меньше время охлаждения, однако при очень резком охлаждении может произойти коробление изделий. При низкой температуре формы затрудняется оформление ребер или острых углов, при высокой температуре формы на изделии после его извлечения могут появиться гофры или складки, вызванные неравномерной усадкой.

Температура формы при переработке кристаллизующихся полимеров влияет на скорость кристаллизации, степень кристалличности и соответственно на качество изделий.

Необходимо отметить, что в процессе охлаждения происходит усадка изделий.

Извлечение изделий можно проводить сжатым воздухом или с помощью выталкивателей.

На заключительном этапе отформованные заготовки подвергают механической обработке: вырубке из листа отдельных изделий, зачистке, пробивке (или сверлению) отверстий и т. д. С этой целью используют механические и гидравлические прессы, ножницы, специальные штампы (холодные и горячие), ленточные или дисковые зачистные станки.

Для формования изделий из листовых и пленочных термопластов характерно значительное количество отходов на различных стадиях процесса (до 30-35%). Подавляющее большинство их может быть успешно использовано для вторичной переработки при своевременном сборе, измельчении и правильном хранении. Отходы измельчают на ленточных или гильотинных ножницах с последующей грануляцией или дроблением.

Вакуумформование имеет несколько разновидностей.

Вакуумформование в матрицу: листовую заготовку укладывают на матрицу, закрепляют прижимной рамой и подводят нагреватель.

После разогревания листа включают вакуум, между листом и матрицей создается разрежение и происходит формование изделия. При этом заготовка прижимается плотно к стенкам матрицы и охлаждается. Затем вакуум отключают, а к матрице подводят сжатый воздух, происходит выталкивание изделия. При формовании в матрицу края изделий имеют наибольшую толщину стенок, а на днище - минимальную. Данный метод применяется при формовании в многогнездные фомы.

Вакуумформование с вытяжкой толкателем. В отличие от рассмотренного способа, вначале происходит вытяжка разогретого листа

толкателем, а затем формование в матрицу под действием вакуума. Применяется этот способ при изготовлении глубоких изделий, когда нужна незначительная разнотолщинность стенок при использовании как одногнездных так и многогнездных форм.

Вакуумформование на пуансоне. Лист закрепляют между двумя рамами, затем подводят нагреватель. После нагревания заготовки поднимается пуансон, закрепленный на поддоне, и происходит предварительная вытяжка. При этом пуансон выполняет роль толкателя. Окончательное оформление изделия выполняется на пуансоне под действием вакуума. В данном случае совмещены две операции - вытяжка и формование, которые проводятся на пуансоне, и не требуется специального толкателя. Однако пуансон при этом должен иметь повышенную температуру, поэтому охлаждение изделия замедляется.

Этот способ находит широкое применение в тех случаях, когда необходимо обеспечить точность внутренних размеров изделия. При формовании на пуансоне наибольшая толщина стенки обеспечивается на днище. Применяется он при изготовлении крупногабаритных изделий в многогнездных формах.

Вакуумформование на пуансоне с предварительной вытяжкой сжатым воздухом. Этот способ применяется в тех случаях, когда полимер очень чувствителен к охлаждению. Чтобы в момент вытяжки лист не касался холодного пуансона, вначале под листом создают давление и лист вытягивается, как при свободном выдувании.

Затем в образовавшуюся полусферу вводят пуансон, включают вакуум и проводят окончательное формование изделия. Охлаждение осуществляют на пуансоне, а также за счет обдува воздухом снаружи.

В зависимости от того, ведутся ли все операции на одной позиции или заготовка перемещается с одной позиции на другую, различают одно-, двух- и многопозиционные машины.

Многопозиционные машины (рис. 12) делятся на ленточные, барабанные, карусельные. Перемещение заготовки с одной позиции на другую может происходить периодически (конвейерные, карусельные) или непрерывно (барабанные).

Рис. 12. Многопозиционная вакуумформовочная машина с автоматическим управлением.

Большая часть вакуумформовочных машин предназначена для изготовления штучных изделий в периодическом режиме. Для получения изделий неограниченной длины (тисненые пленки) используются барабанные машины непрерывного действия.

2) Пневмоформование - это процесс формования изделий сжатым воздухом из заготовок в виде пленки или листа, нагретых до температур, при которых осуществляется высокоэластическая деформация полимера.

Лист или пленку производят из гранулята или порошка, получая полуфабрикат (полупродукт), что создает дополнительные затраты на сырье. Необходимость закрепления листа при пневмоформовании и последующий процесс обрезки приводят к отходам, которые возвращаются в производственный цикл путем их дробления. Полученный вторичный полимер затем может добавляется к исходному материалу при производстве листа.

Заготовку из перерабатываемого материала нагревают до температуры, соответствующей переходу в высокоэластическое состояние (для аморфных полимеров) или до температуры приближенной к плавлению кристаллической фазы (для кристаллизующихся полимеров). Под влиянием

сжатого воздуха (давление до 2,5 МПа) в заготовке развиваются обратимые высокоэластические деформации, которые "замораживаются" в результате быстрого охлаждения соприкасающегося с холодной формой материала.

Методом пневмоформования листов получают различные объемные изделия: коробки, посуду, емкости и т. п. В частности, из УПС получают детали для холодильников, мебели, облицовки, поделок; из сополимеров стирола, имеющих высокую ударную вязкость, изготавливают дверцы, панели для самолетов; из двухосноориентированной ПС-пленки изготавливают неглубокие прозрачные пакеты, из вспененной пленки – посуду для холодных напитков, мороженого, бутербродов; из ПММА – сигнальные фонари реклам, арматуру для ламп; из ориентированных листов - остекление для самолетов и вертолетов; из ПВХ изготавливают неглубокие изделия - рельефные карты, скатерти, маленькие пакеты и др.; из полиолефинов производят посуду, игрушки, упаковку для пищи.

Рис. 13. Объемная форма, изготовленная методом пневмоформования.

К бесспорным достоинствам метода пневмоформования относятся: простота технологии и машинного оформления, низкая энергоемкость, невысокая стоимость используемой оснастки, возможность полной автоматизации процесса, универсальность по виду перерабатываемых пластмасс.

Основные стадии процесса пневмоформования: раскрой и разрезка заготовок, их разогрев, формование изделий, механическая обработка готовых изделий (вырубка, сверление и др.), сборка, упаковка и транспортировка.

Для резки листов на заготовки применяют гильотинные ножницы, раскаленную электрическим током проволоку, ленточные и дисковые пилы, а также разнообразные приспособления типа резаков. При механической резке режущий инструмент (пилы, диски, фрезы) необходимо интенсивно охлаждать, а образующиеся опилки (стружку) удалять с помощью отсосов для сохранения качественной поверхности листа.

Нагревание листовой заготовки. Заготовки можно нагревать в сушильных шкафах, в электрическом поле высокой частоты или инфракрасными нагревателями.

Нагревание в сушильных шкафах более длительное, чем остальные методы, и применяется в основном для полимеров, чувствительных к перегреванию.

Высокочастотный нагрев применяется для полярных полимеров. Однако, несмотря на все преимущества, его трудно применить для нагревания больших листов или заготовок, закрепленных в зажимной раме.

Наиболее часто для нагревания листов применяют инфракрасные нагреватели. Однако при инфракрасном нагревании по толщине листа возникает большой температурный градиент, обусловленный низкой теплопроводностью полимера. Разность температур на поверхностях листа зависит от мощности нагревателя, толщины листа и его удельной теплопроводности.

Обычно формование проводится при условии, когда нижняя сторона листа аморфных полимеров нагревается выше температуры стеклования, а кристаллических - выше температуры размягчения. Обогреваемая поверхность, обычно, имеет более высокую температуру, но она не должна быть выше термостойкости полимера (температуры деструкции).

При большом градиенте температур по толщине листа, полимер на обогреваемой поверхности может перегреться, что может вызвать его термическую деструкцию или изменение окраски. Поэтому толстые листовые заготовки обычно нагревают при двухстороннем расположении нагревателей. В этом случае время нагревания уменьшается в 4 раза.

Формование изделий происходит вследствие вытяжки листа под действием усилия пресса или сжатого воздуха. Скорость деформации листовой заготовки обеспечивается скоростью опускания плиты пресса или давлением и в каждом конкретном случае выбирается с учетом свойств полимера и температуры нагревания листа. Скорость деформации должна быть такой, чтобы звенья макромолекул могли переходить в новое положение без разрушения цепей полимера.

Скорость вытяжки листа обычно регулируется расходом сжатого воздуха, подаваемого в форму. Следует заметить, что при малой скорости подачи воздуха, лист прижимается к стенкам формы неравномерно, и может появиться рябь на поверхности изделия.

В процессе формования нагретая заготовка прижимается к поверхности формы под действием сжатого воздуха. Толстые заготовки для облегчения формования могут дополнительно прижиматься к поверхности формы с помощью механического давления пуансона.

Температуру формования обычно определяют экспериментально, так как она зависит от свойств полимера, толщины листа, конфигурации изделия и его размеров. Эта температура оказывает влияние на прочность и усадку изделия.

В момент формования между формой и листовой заготовкой находится воздух. Для его удаления в углублениях формы сверлят отверстия диаметром 1-2 мм, но не более половины толщины стенки изделия.

Для получения малосерийных изделий применяют формы из дерева и гипса, рассчитанные на короткие сроки службы (до 50 тыс. изделий). Для изделий, выпускаемых в больших количествах, формы изготавливаются из

фенолформальдегидных или эпоксидных смол, армированных стекловолокном. Формы для длительной непрерывной работы изготавливают из металла (алюминиевые, магниевые сплавы). Они способны выдержать до 500 тыс. циклов формования.

Преимущество пневмоформования заключается в возможности использовать высокое давление формования (0,15–2,5 МПа), что позволяет получать изделия с более толстыми стенками, крупногабаритные детали. Изделия получаются с небольшой разнотолщинностью, имеют четкий контур, точные размеры.

В зависимости от конструкции формы существуют три разновидности способа формования:

1) свободное выдувание;

2) пневмоформование в матрицу;

3) пневмоформование в матрицу с вытяжкой заготовки толкателем.

Свободное выдувание. Лист укладывают на поддон и закрепляют рамой. Подводится инфракрасный нагреватель, и листовая заготовка разогревается. Затем через отверстие в поддоне подается сжатый воздух, под действием которого лист вытягивается и образуется изделие в виде полусферы. Высота изделия регулируется давлением. Охлаждение проводится за счет обдува струей воздуха. Для того чтобы изделия получались определенной высоты, иногда применяют ограничители, торцы которых оформляют дно. При касании полусферы и ограничителя происходит срабатывание электромагнитного клапана и подача воздуха в поддон прекращается.

Пневмоформование в матрицу. Разогретую заготовку укладывают на матрицу и закрепляют поддоном. Через отверстие поддона подается сжатый воздух, под действием которого лист вытягивается и прижимается к охлаждаемым стенкам матрицы. Для охлаждения матрица имеет каналы, в которые подается вода. Для выхода воздуха из полости формы в момент формования изделия в углублениях матрицы имеются воздушные каналы.

Данным способом могут изготавливаться изделия сложной конструкции с большой толщиной стенок. Однако при изготовлении глубоких изделий таким методом получается значительная разнотолщинность стенок.

При формовании тонкостенных изделий, чтобы струя воздуха не ударяла в лист и не происходило местного утонения, в поддоне устанавливают распределитель воздуха, который подает воздух равномерно по всей поверхности, при этом воздух предварительно подогревается. Недостатком данного метода является то, что матрица сверху закрывается поддоном, поэтому исключается визуальный контроль за процессом формования, а также затрудняется обдув изделия воздухом при охлаждении.

При формовании в матрицу заданные размеры изделия обеспечиваются по наружной поверхности, а внутренние зависят от толщины стенок.

Пневмоформование в матрицу с вытяжкой листа толкателем. Этот способ применяется при изготовлении глубоких изделий.

Заготовку укладывают на матрицу, закрепляют рамой и нагревают. Затем опускается толкатель, происходит предварительная вытяжка заготовки, после чего через отверстия толкателя подается сжатый воздух и проводится окончательное формование изделия в матрице. Заготовка прижимается к стенкам матрицы и охлаждается (рис. 6). Температура толкателя обычно поддерживается на 20 - 30°С ниже, чем температура листовой заготовки. При более низкой температуре возможно местное охлаждение листа и формование затрудняется. Изменяя величину хода толкателя и его размеры, можно регулировать разнотолщинность изделия по высоте. Разнотолщинность можно также уменьшить, если площадь зажимной рамы берут больше, чем площадь матрицы. При формовании часть материала растягивается за контуром матрицы и разнотолщинность снижается. Этот метод можно применить при изготовлении изделий в многогнездных формах.

Рис. 14. Схема пневмоформования в матрицу с вытяжкой листа.

Основными недостатками метода пневмоформования являются сравнительно высокие отходы полимера и длительность технологического цикла. Однако при крупносерийном и массовом производстве изделий коэффициент расхода материала можно уменьшить, применяя многогнездные формы.

Для одновременного формования нескольких изделий используется одна общая зажимная рама, поэтому часть заготовки, идущая под зажим, а затем на вторичную переработку, значительно сокращается. Таким образом, большая часть полимера расходуется рационально и расход его уменьшается.

Для сокращения длительности цикла необходимо совместить операции нагревания заготовки и охлаждения изделия или исключить операцию нагревания. Совмещения операций по времени можно добиться на поточных многопозиционных линиях (рис. 15).

Рис. 15.Пневмоформовочная автоматическая линия.

3) Ротационное формование - метод изготовления тонкостенных полых изделий во вращющейся форме: заполненная порошкообразным или гранулированным материалом закрытая металлическая форма вращается вокруг двух и более пересекающихся осей (рис. 16). При этом происходит распределение сырьевого материала по внутренней поверхности полости формы, а одновременный нагрев формы способствует его расплавлению с образованием тонкого покрытия в виде оболочки. Фиксация формы и размеров получаемого полого изделия достигается охлаждением расплавленного материала.

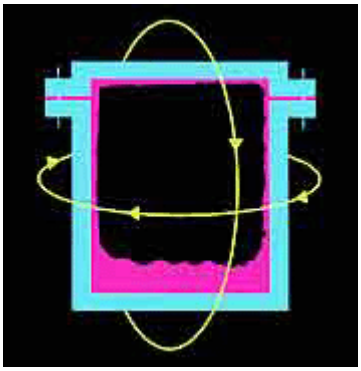

Рис. 16. Схема ротационного формования.

Ротационное формование широко используется для изготовления разнообразных изделий самой различной величины и формы - деталей приборов, корпусных деталей мебели, бочек и контейнеров, лодок и др (рис. 17). В настоящее время данная технология позволяет производить изделия объемом до 10 000 л с толщиной стенок 6-20 мм .

Рис. 17. Бочки, изготовленные методом ротационного формования.

Этим методом перерабатываются такие термопластичные материалы, как наполненный техническим углеродом полиэтилен, полиамиды и др. Доминирующую роль среди материалов для ротационного формования

играет полиэтилен (ПЭ). По данным ARM (Международной ассоциации ротационного формования) на долю полиэтиленовых изделий приходится от 85 до 95% рынка. Применяется ПЭ низкого, среднего, высокого давления, пространственно сшиваемый ПЭ. Наибольшее количество изделий выпускается из линейного полиэтилена низкого давления. На долю других полимеров приходится от 5 до 15% рынка. Среди этих полимерных материалов лидирующую роль занимают ПВХ - пластизоли.

Для ротационного формования разработаны специальные марки полиамида, поликарбоната, полипропилена. Также этим методом возможно изготовление изделий из термореактивных полимерных материалов, таких как полиуретаны, эпоксидные композиции и т.д. Из смесей полимеров, отличающихся друг от друга значениями температуры плавления, получают двухслойные изделия с различными свойствами слоев.

В ротационном формовании для модификации свойств полимеров и готовых изделий широко используются различные добавки. Это, в первую очередь, термо- и светостабилизаторы, пигменты. Применяются антистатические добавки, пламягасители, вспенивающие агенты. Возможно применение наполнителей и стекловолокна.

К достоинствам метода относятся:

- простота изготовления полых изделий по сравнению с другими методами;
- возможность образования отверстий в стенке изделий или точеное изменение толщины стенки за счет изменения теплопроводности стенки формы;
- отсутствие отходов материала и затрат на дополнительную механическую обработку готовых изделий.
- отформованные изделия имеют гладкую поверхность без сварных швов, снижающих прочность изделий. При этом наиболее прочными являются углы и кромки изделия, которые обладают наименьшей прочностью при раздувном и пневмовакуумном формовании.

К недостаткам метода следует отнести большую длительность технологического цикла изготовления изделий и трудоемкость извлечения полученного изделия из формы.

Ротационное формование относится к высокопроизводительным процессам, уступая по производительности лишь литью под давлением, выдувному и экструзионному формованию. Причем, в ряде случаев экономически целесообразно использование ротационного формования для получения партий изделий, насчитывающих всего несколько штук.

Выбор оборудования для ротационного формования определяется конфигурацией и размерами изделия, типом перерабатываемого материала и серийностью производства.

Последовательность основных технологических операций при ротационном формовании термопластов состоит из нескольких стадий. На стадии «а» происходит дозирование и загрузка сырья в холодную форму, на стадиях «б» и «в» последовательно осуществляются нагрев и охлаждение при одновременном ее вращении вокруг двух взаимно перпендикулярных осей, на стадии «г» готовое изделие извлекается из формы (см. рис.18).

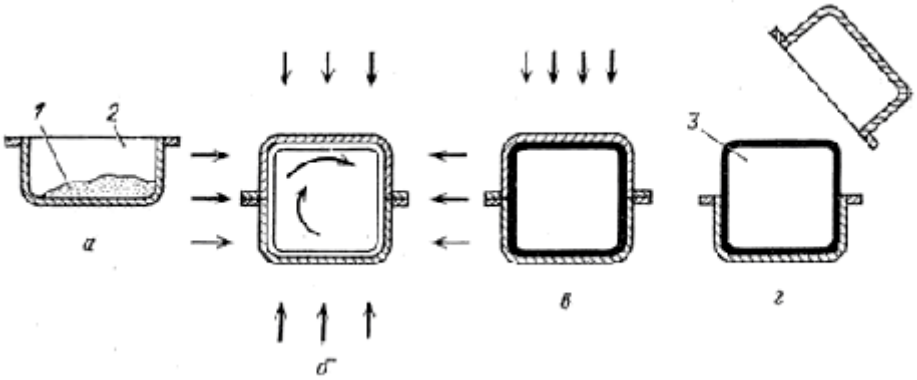

Рис.18. Схема метода ротационного формования (а - г - стадии формования): 1 - сырье; 2 - форма; 3 - готовое изделие.

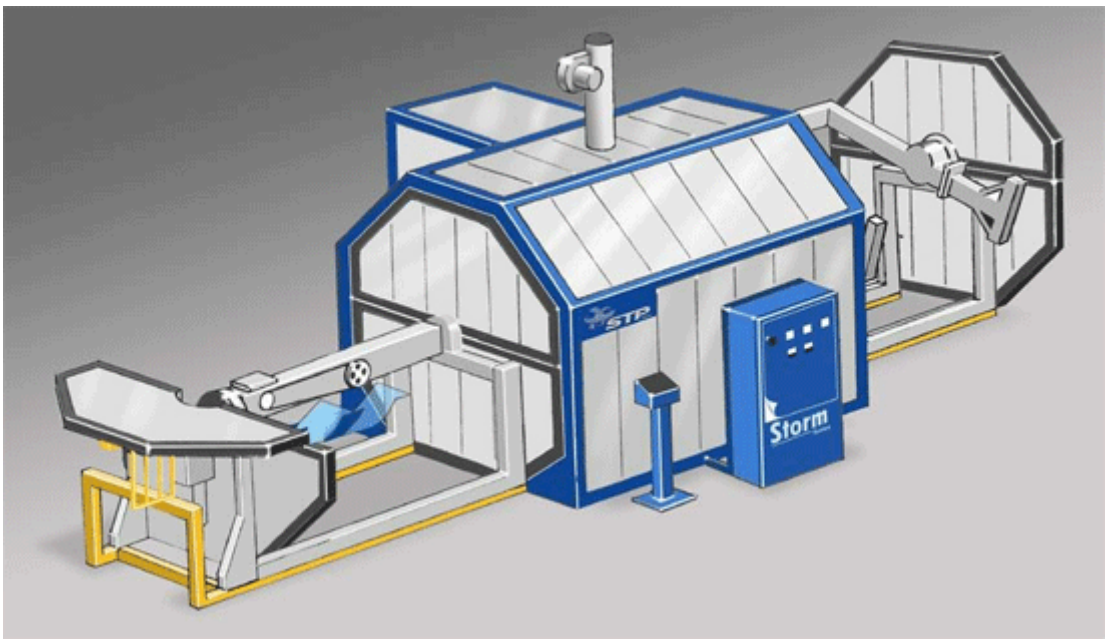

Рис .19. Установка для ротационного формования.

Дозирование полимера. Применяется весовое дозирование, при этом масса полимера рассчитывается с учетом обеспечения заданной толщины стенки изделия.

Нагревание формы для установок непрерывного действия осуществляется в печах газовым пламенем, горячим воздухом или инфракрасным излучением. Обогрев газовым пламенем эффективен, однако его применение ограничено нагревом стальных форм (для нагрева форм из других металлов он не применяется во избежание разрушения их в результате перегрева). Обогрев горячим воздухом применяется при формовании изделий с малой толщиной стенок (до 1,5 мм). Инфракрасный обогрев эффективен для нагрева одиночных форм простой конфигурации.

В последнее время для нагрева ротационных форм стали использовать расплавы солей, например смеси нитратов натрия и калия: расплавленная при температуре 473 - 573 К смесь разбрызгивается на поверхности вращающейся формы, равномерно прогревая ее стенки.

Формование изделия производится при вращении формы и равномерного распределения полимера по всей поверхности с одновременным нагреванием. Вращение формы необходимо только для того, чтобы осуществить равномерное распределение материала по ее станкам в

результате перемещения порошка или гранулята под действием силы тяжести. По мере нагрева формы нагревается и плавится порошок полимера, происходит его налипание на стенки формы. Вязкость расплава достаточно велика для того, чтобы предотвратить перемещение материала относительно стенки формы до окончания процесса формования.

После гомогенизации расплавленной композиции скорость вращения формы желательно увеличить для получения более монолитной оболочки изделия, чтобы за счет центробежных сил уплотнить материал. Для удаления из полимера воздушных включений в форме можно создать вакуум и начать охлаждение. Продолжительность операции формования зависит от скорости нагревания формы и температуры плавления полимера и, как правило, находится экспериментально.

Охлаждение изделия производится при вращении формы за счет обдувания её холодным воздухом или распыленной водой с воздухом. Температура формы в конце охлаждения должна быть ниже температуры стеклования для аморфных полимеров или температуры теплостойкости для кристаллизующихся.

Извлечение изделия производится после разборки формы. В зависимости от вида изделия и типа перерабатываемого полимерного материала используют формы с одной или несколькими плоскостями разъема.

Изменяемыми технологическими параметрами процесса ротационного формования являются: частота вращения формы вокруг главной (горизонтальной) оси $N_{гл}$ и вокруг вторичной (вертикальной) оси $N_в$, соотношение частот вращения вокруг этих осей $M= N_{гл}/ N_в$, температура нагрева формы $T_ф$ и время нагрева $t_н$, а также объемные характеристики порошка. Параметры $N_{гл}$, $N_в$ и M определяют траекторию движения частиц относительно внутренней поверхности полости формы. Протекание процесса плавления материала зависит от теплофизических характеристик сырья, времени пребывания материала в вязкотекучем состоянии и параметров $T_ф$ и

$t_н$. Выбор параметров технологического процесса ротационного формирования в настоящее время производится только экспериментальным путем.

Формы для ротационного формования обычно изготавливают из металла: отливок из алюминия, листов мягкой стали, гальванической меди и никеля. Ввиду того, что качество поверхности готового изделия определяется состоянием формующей поверхности, при изготовлении формы особое внимание уделяется устранению трещин и пор в верхнем слое металла формы контактирующем с изделием.

Толщина стенки формы зависит от ее конфигурации, размеров, материала и способа нагрева.

4) Экструзионно-выдувное формование. Полые и объемные изделия из термопластов - канистры, бочки, бутыли, флаконы, игрушки и т. п. – чаще всего получают методом раздувного формования. Производство изделий этим методом осуществляется в две стадии: сначала получают трубную заготовку с температурой несколько ниже температуры плавления, которую затем раздувают сжатым воздухом. В основе этой технологии лежит использование не только пластической, но и преимущественно высокоэластической деформации.

В зависимости от выбранного способа получения заготовки различают два метода раздувного формования: экструзионный и литьевой.

Экструзионный метод раздувного формования: с помощью экструдера формуется заготовка в виде трубки (рукава), которая затем поступает в форму, в которой происходит процесс формования изделия за счет создания внутри заготовки повышенного давления воздуха.

Благодаря большой производительности и высокому уровню автоматизации этот метод является в настоящее время основным способом формования полых изделий и, в результате ряда усовершенствований, позволяет получать изделия объёмом от единиц миллилитров до нескольких десятков и даже сотен литров.

Технологический процесс получения изделий методом экструзионно-выдувного формования складывается из следующих операций:

- гомогенизация расплава и выдавливание рукавной заготовки;
- раздув заготовки в форме и формование изделия;
- охлаждения изделия и его удаление из формы;
- окончательная обработка готовых изделий.

Для изготовления полых изделий применяются, как правило, экструдеры сравнительно небольших размеров, с диаметром шнека 50-90 мм. Поскольку сопротивление головки сравнительно невелико, а основным требованием является получение расплава с высокой однородностью, длина шнека не превышает 15 – 18 D.

Расплавленный и гомогенизированный в экструдере материал выдавливается из головки вниз в виде трубчатой заготовки, которая попадает в открытую к этому моменту форму. После того, как длина заготовки достигнет необходимой величины, полуформы смыкаются, зажимая нижний и верхний края заготовки своими бортами. При этом происходит сварка нижнего конца заготовки и оформление отверстия на ее верхнем конце (или наоборот). После смыкания формы в нее через дорн или ниппель подается сжатый воздух, под действием которого размягченный материал рукава принимает конфигурацию внутренней полости формы.

Формование заготовки является важнейшей операцией, которая во многом определяет свойства и качества готового изделия. Поступающий в мундштук расплав должен быть гомогенным, иметь постоянную температуру по всему периметру заготовки и выдавливаться равномерно (без пульсации). При получении изделий, имеющих в сечении форму прямоугольника, эллипса и т. п., а также изделий сложной конфигурации, сечение формующей щели делают неодинаковым: участки заготовки, которые раздуваются больше, должны иметь большую толщину. Следует иметь в виду, что выдавливаемая заготовка имеет большую толщину, чем сечение

формующего зазора вследствие так называемого «разбухания» экструдата, носящего релаксационный характер.

Разбухание экструдата определяется геометрией формующего канала, скоростью выдавливания заготовки и в значительной степени может быть учтено на стадии выбора технологом формующего инструмента. В целом, разбухание рукава уменьшается с увеличением длины канала в головке, ростом температуры расплава. При увеличении скорости выдавливания заготовки разбухание возрастает. Изменение толщины стенки заготовки в результате растяжения можно уменьшить за счет снижения температуры расплава.

При формовании продолговатых и длинных изделий было отмечено, что из-за вытягивания пластичной заготовки под действием собственного веса толщина стенок верхней части изделия оказывается меньшей, чем нижней части.

Разнотолщинность заготовки зависит от скорости выдавливания расплава, его вязкости и веса заготовки. Обычно формование заготовки ведут при минимально возможной температуре расплава и высокой скорости экструзии. Минимальная разнотолщинность достигается при коэффициенте раздува 3-3,5.

В зависимости от конструкции изделия и формующего инструмента подача сжатого воздуха для формования изделия может производиться через дорн (сверху), через специальный ниппель (снизу) или через полую иглу (рис. 20). Последний способ применяется главным образом при производстве замкнутых изделий (без отверстия), так как формующее отверстие в этом случае очень мало и затягивается после удаления иглы разогретым материалом.

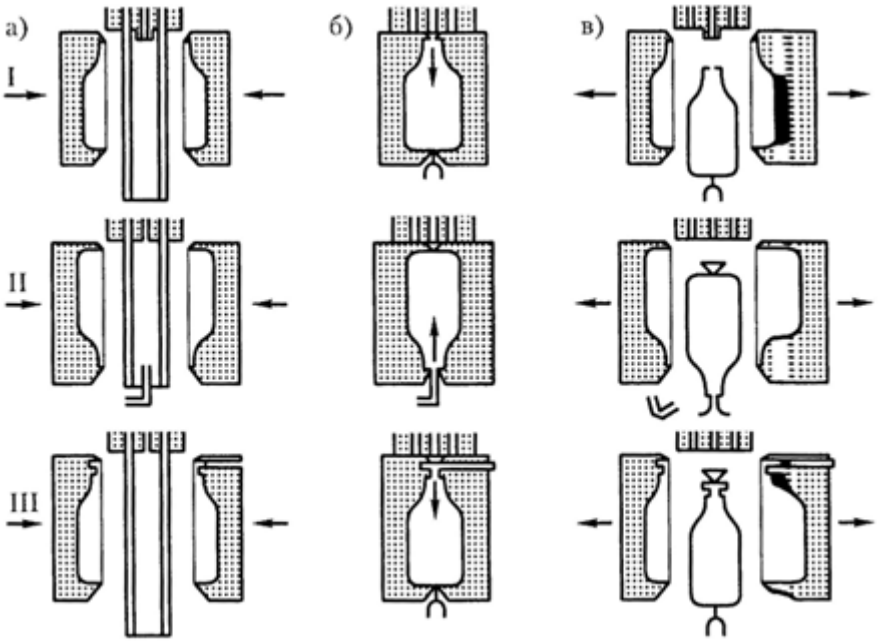

Рис. 20. Варианты подачи сжатого воздуха сверху (I), снизу (II), через дутьевую иглу (III):

а - смыкание полуформы; б - раздувание заготовки и охлаждение изделия; в - размыкание форм и съем изделия

Стадия раздува заготовки начинается после смыкания полуформ и защемления части контура будущего изделия пресс-кантами формы; одновременно трубчатая заготовка отделяется от формующей головки. Раздув заготовки первоначально носит «свободный» характер - изменение толщины происходит достаточно равномерно, и раздуваемый рукав имеет форму «пузыря». Затем расширяющая заготовка соприкасается с формой и охлаждается. На качество изделия на этой стадии процесса формования решающее влияние оказывают давление воздуха и температура заготовки. С увеличением давления улучшается качество поверхности, снижается коробление, уменьшается время охлаждения.

Стадия охлаждения начинается с момента контакта заготовки с поверхностью охлаждаемой формы и заканчивается после охлаждения наиболее толстых участков изделия, примыкающих к горловине или днищу. Преждевременное извлечение изделий сопровождается размягчением соседних с горловиной участков и их необратимым деформированием.

Основным фактором на этой стадии является температура формы. Она не только отражается на качестве готовых изделий, но и определяет производительность процесса, так как охлаждение составляет от 50 до 75 % времени цикла формования. Поэтому используют интенсивное охлаждение форм различными хладагентами, подачу в полость изделия охлажденного воздуха, водяного тумана, жидкого азота и углекислоты.

Время охлаждения можно сократить понижением температуры расплава (может сопровождаться ухудшением качества поверхности готовых изделий) и повышением давления воздуха, что способствует улучшению теплоотдачи от изделия к стенке формы.

После охлаждения изделия форма раскрывается, готовое изделие извлекается и направляется на окончательную обработку (удаление приливов, снятие заусенцев и т. п.).

Помимо экструдера технологическая схема включает также механизм перемещения, разъема и смыкания формы с гидравлическим или пневматическим приводом (рис. 21).

Рис. 21. Экструзионно-выдувная установка.

Так как процесс формования распадается на две неравные по продолжительности стадии: короткую стадию выдавливания заготовки и длительную - формования и охлаждения изделия, то для повышения производительности большинство установок выполняется либо многопозиционными, с несколькими формами (рис. 14), либо снабжается двух- и более канальной формующей головкой, иногда с несколькими мундштуками на каждом из каналов.

Рис. 22. Многопозиционный экструзионно-выдувной агрегат.

Производство изделий методом экструзии с раздувом сопровождается образованием значительного количества отходов (до 35 %). Большая их часть вполне пригодна для повторной переработки на тех же установках после перевода их в гранулы. При этом количество добавляемых к свежему сырью отходов не должно превышать 30 - 40%.

Литьевой метод раздувного формования предполагает получение заготовки методом литья под давлением.

В этом случае расплав из цилиндра термопластавтомата впрыскивается в литьевую форму и трубчатая заготовка оформляется в зазоре между стенками формы и внутренним пустотелым сердечником. Заготовке может быть придана необходимая форма, причем горловина, ручки, необходимые приливы на наружной поверхности оформляются сразу при литье. После окончания процесса литья форма размыкается, и сердечник вместе с горячей заготовкой перемещается в другую форму, где после смыкания полуформ осуществляется процесс раздува за счет подачи сжатого воздуха во внутреннюю полость. При этом размер изделия увеличивается, а толщина стенок уменьшается. Так как геометрическая форма заготовки задается заранее, этот метод позволяет получать сложные по конфигурации изделия, изделия с равномерной толщиной стенок и необходимым соотношением толщины стенок в разных его частях.

Наибольшее распространение получил другой вариант этой технологии, когда стадии отливки заготовки и ее раздува разделены. Заготовка, называемая преформой, отливается в многогнездной форме на термопластавтомате и полностью охлаждается. Раздув заготовки осуществляется воздухом на специальном агрегате после ее предварительного разогрева, с последующим охлаждением в форме. Этим методом производятся бутылки для всевозможных безалкогольных напитков, минеральной воды и т. п.. Разделение стадий формования заготовки и ее раздува (как правило, у потребителя) позволяет достигнуть высокой производительности при изготовлении как заготовок, так и готовых изделий.

Изготовление пустотелых изделий раздуванием позволяет уменьшить толщину их стенки, сокращает расход дорогостоящего полимерного материала вследствие отсутствия пресс-кантов и приливов, увеличивает прочность и улучшает внешний вид продукции.

Недостаток изделий, изготовленных этим методом, в том, что все изделия обладают способностью необратимо утрачивать свою форму при

повышении температуры выше температуры размягчения, что накладывает ограничения на температурный интервал их эксплуатации.

2.3. Экструзия

Экструзия – это способ переработки полимерных материалов непрерывным продавливанием их расплава через формующую головку, геометрическая форма выходного канала которой определяет профиль получаемого изделия или полуфабриката.

Около половины производимых термопластов перерабатываются в изделия этим способом. Экструзией получают пленки, листы, трубы, шланги, капилляры, прутки, сайдинг, различные по сложности профили, наносят полимерную изоляцию на провода, производят многослойные разнообразные по конструкции и сочетанию применяемых пластмасс гибридные погонажные изделия. Переработка вторичных полимеров и гранулирование также выполняются с применением экструзионного оборудования.

В 2006 году около 30% производимых в России термопластов были переработаны методом экструзии.

Основным оборудованием экструзионного процесса является червячный экструдер, оснащенный формующей головкой. В экструдере полимерный материал расплавляется, пластицируется и затем нагнетается в головку. Чаще всего используются различные модификации одно- и двухчервячных экструдеров.

Иногда при переработки пластмасс применяются бесшнековые, или дисковые, экструдеры, в которых рабочим органом, продавливающим расплав в головку, является диск особой формы. Дисковые экструдеры применяются, когда необходимо получить улучшенное смешение компонентов смеси. Из-за невозможности развивать высокое давление формования такие экструдеры применяются для получения изделий с относительно невысокими механическими характеристиками и небольшой точностью геометрических размеров.

Комбинированные экструдеры имеют в качестве рабочего органа устройство, сочетающее шнековую и дисковую части, и называются червячно-дисковыми. Применяются для обеспечения хорошего смесительного эффекта, особенно при переработке композитов. На них перерабатываются расплавы пластмасс, имеющие низкую вязкость и достаточно высокую эластичность.

Процессы, происходящие при экструзии.

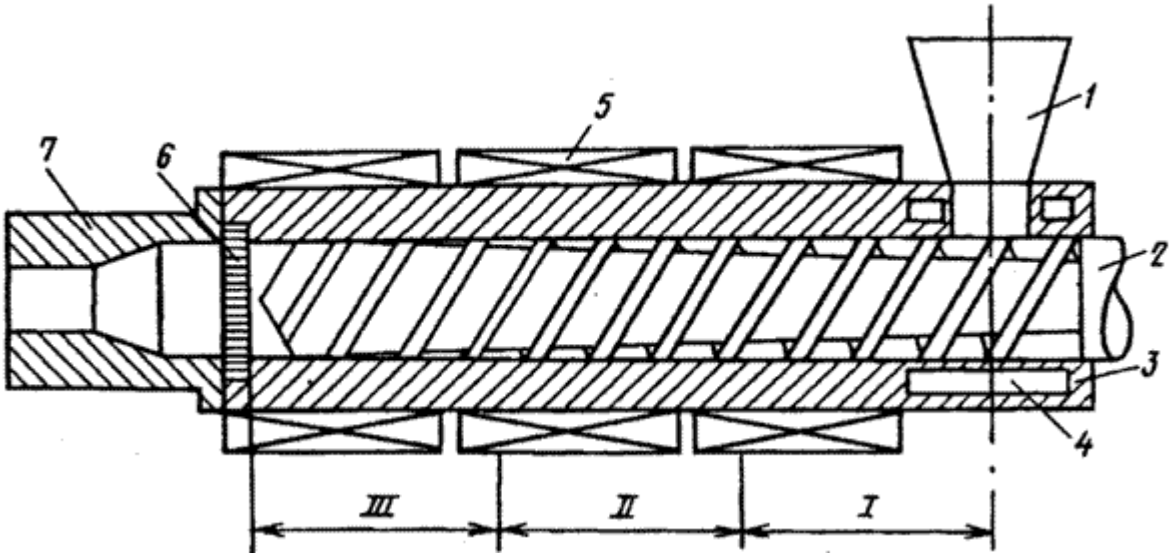

Рис. 23. Схема одношнекового экструдера: 1- бункер; 2- шнек; 3- цилиндр; 4- полость для циркуляции воды; 5- нагреватель; 6- решетка с сетками; 7- формующая головка.

Технологический процесс экструзии складывается из последовательного перемещения материала вращающимся шнеком в его зонах (см. рис. 1): питания (I), пластикации (II), дозирования расплава (III), а затем продвижения расплава в каналах формующей головки.

Деление шнека на зоны I-III осуществляется по технологическому признаку и указывает на то, какую операцию в основном выполняет данный участок шнека. Разделение шнека на зоны условно, поскольку в зависимости от природы перерабатываемого полимера, температурно-скоростного режима процесса и других факторов начало и окончание определенных операций

могут смещаться вдоль шнека, захватывая различные зоны или переходя из одного участка в другой.

Цилиндр также имеет определенные длины зон обогрева. Длина этих зон определяется расположением нагревателей на его поверхности и их температурой. Границы зон шнека I-III и зон обогрева цилиндра могут не совпадать.

Рассмотрим поведение материала последовательно на каждом этапе экструзии.

Загрузка сырья. Исходное сырье для экструзии, подаваемое в бункер, может быть в виде порошка, гранул, лент. Равномерное дозирование материала из бункера обеспечивает хорошее качество экструдата.

Переработка полимера в виде гранул - наилучший вариант питания экструдера. Это объясняется тем, что гранулы полимера меньше склонны к образованию «сводов» в бункере, чем порошок, следовательно, исключаются пульсации потока на выходе их экструдера.

Загрузка межвиткового пространства под воронкой бункера происходит на отрезке длины шнека, равном (1 - 1,5)D. При образовании «сводов» на стенках бункера питание шнека материалом прекращается. Для устранения этого необходимо в бункер помещать ворошители.

Сыпучесть материала зависит в большой степени от влажности: чем больше влажность, тем меньше сыпучесть. Поэтому материалы должны быть вначале подсушены.

Для увеличения производительности машины гранулы можно предварительно подогреть.

Применяя приспособления для принудительной подачи материала из бункера на шнек, также удается существенно повысить производительность машины (в 3-4 раза). При уплотнении материала в межвитковом пространстве шнека вытесненный воздух выходит обратно через бункер. Если удаление воздуха будет неполным, то он останется в расплаве и после формования образует в изделии полости, что является браком изделий.

Изменение уровня заполнения бункера материалом по высоте также влияет на полноту заполнения шнека. Поэтому бункер снабжен специальными автоматическими уровнемерами, по команде которых происходит загрузка бункера материалом до нужного уровня. Загрузка бункера экструдера осуществляется при помощи пневмотранспорта.

При длительной работе экструдера возможен перегрев цилиндра под воронкой бункера и самого бункера. В этом случае гранулы начнут слипаться и прекратится их подача на шнек. Для предотвращения перегрева этой части цилиндра в нем делаются полости для циркуляции охлаждающей воды (см. рис. 1, поз. 4).

Зона питания (I). Поступающие из бункера гранулы заполняют межвитковое пространство шнека зоны I и уплотняются. Уплотнение и сжатие гранул в зоне I происходит, как правило, за счет уменьшения глубины нарезки *h* шнека. Продвижение гранул осуществляется вследствие разности значений силы трения полимера о внутреннюю поверхность корпуса цилиндра и о поверхность шнека. Поскольку поверхность контакта полимера с поверхностью шнека больше, чем с поверхностью цилиндра, необходимо уменьшить коэффициент трения полимера о шнек, так как в противном случае материал перестанет двигаться вдоль оси шнека, а начнет вращаться вместе с ним. Это достигается повышением температуры стенки цилиндра (нагревом) и понижением температуры шнека (шнек охлаждается изнутри водой).

Нагрев полимера в зоне I происходит за счет диссипативного тепла, выделяющегося при трении материала и за счет дополнительного тепла от нагревателей, расположенных по периметру цилиндра.

Иногда количество диссипативного тепла может быть достаточным для плавления полимера, и тогда нагреватели отключают. На практике такое происходит редко.

При оптимальной температуре процесса полимер спрессован, уплотнен и образует в межвитковом пространстве твердую пробку (см. рис. 24). Лучше

всего, если такая скользящая пробка образуется и сохраняется на границе зон I и II. Свойства пробки во многом определяют производительность машины, стабильность транспортировки полимера, величину максимального давления и т. д.

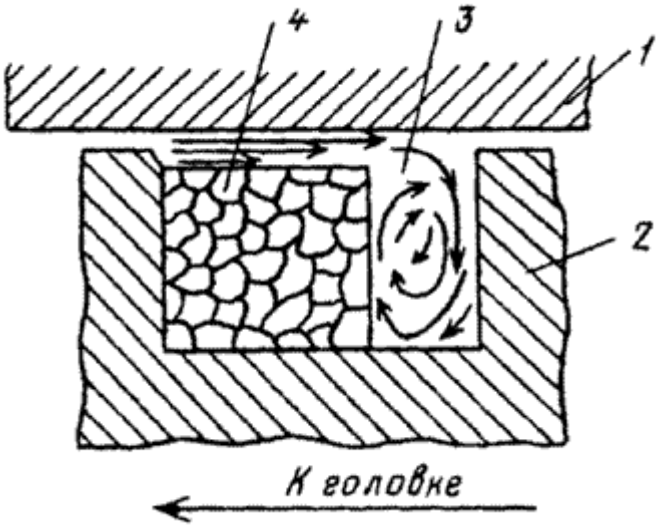

Рис. 24. Схема плавления пробки материала в зоне II в межвитковом сечении шнека: 1- стенки цилиндра; 2- гребень шнека; 3- потоки расплава полимера; 4- спрессованный твердый полимер (пробка) в экструдере.

Зона пластикации и плавления (II). В начале зоны II происходит подплавление полимера, примыкающего к поверхности цилиндра. Расплав постепенно накапливается и воздействует на убывающую по ширине пробку. Поскольку глубина нарезки шнека уменьшается по мере продвижения материала от зоны I к зоне III, то возникающее давление заставляет пробку плотно прижиматься к горячей стенке цилиндра, происходит плавление полимера.

В зоне пластикации пробка плавится также и под действием тепла, выделяющегося вследствие внутреннего, вязкого трения в материале в тонком слое расплава (поз. 3 на рис. 24), где происходят интенсивные сдвиговые деформации. Последнее обстоятельство приводит к выраженному смесительному эффекту. Расплав интенсивно гомогенизируется, а составляющие композиционного материала перемешиваются.

Конец зоны II характеризуется распадом пробки на отдельные фрагменты. Далее расплав полимера с остатками твердых частиц попадает в зону дозирования.

Основной подъем давления *P* расплава происходит на границе зон I и II. На этой границе образующаяся пробка из спрессованного материала как бы скользит по шнеку: в зоне I это твердый материал, в зоне II- плавящийся. Наличие этой пробки и создает основной вклад в повышение давления расплава. Также увеличение давления происходит за счет уменьшения глубины нарезки шнека. Запасенное на выходе из цилиндра давление расходуется на преодоление сопротивления сеток, течения расплава в каналах головки и формования изделия.

Зона дозирования (III). Продвижение гетерогенного материала (расплав, частички твердого полимера) продолжает сопровождаться выделением внутреннего тепла, которое является результатом интенсивных сдвиговых деформаций в полимере. Расплавленная масса продолжает гомогенизироваться, что проявляется в окончательном плавлении остатков твердого полимера, усреднении вязкости и температуры расплавленной части.

В межвитковом пространстве расплав имеет ряд потоков, основными из которых являются продольный и циркуляционный. Величина продольного (вдоль оси шнека) потока определяет производительность экструдера Q, а циркуляционного - качество гомогенности полимера или смешения компонентов.

В свою очередь продольный поток складывается из трех потоков расплава: прямого, обратного и потока утечек.

Прямой поток вызван движением шнека в направлении формующей головки. Обратный поток – это воображаемое течение, вызываемое высоким давлением со стороны головки; в реальности не существует. Поток утечки происходит при перетекании расплава между цилиндром и гребнем червяка.

Производительность Q экструдера с учетом распределения скоростей различных потоков составляет

$Q = Q_{пр} - Q_{обр} – Q_{ут}$,

где $Q_{пр}$, $Q_{обр}$, $Q_{ут}$ - производительности экструдера от прямого потока, противотока и утечек расплава соответственно.

$Q= \alpha n – \beta \cdot (\Delta P)/(\mu \cdot L)$,

где n - частота вращения шнека; ΔP - давление на выходе из шнека (в конце зоны III); μ - эффективная вязкость расплава; L – длина шнека; α – константа скорости прямого потока, β – константа скорости обратного потока, которые зависят от геометрических параметров шнека.

Основные параметры процесса экструзии. К технологическим параметрам относятся температура переработки полимера, давление расплава, температура зон головки и температурные режимы охлаждения сформованного экструдата.

При слишком высокой вязкости расплава получать изделия методом экструзии трудно из-за большого сопротивления течению расплава, возникновения неустойчивого режима движения потока. Все это приводит к образованию дефектов изделий.

Повышение температуры переработки может привести к термодеструкции расплава, а увеличение давления, мощности привода при более низких температурах - к механодеструкции, т.е. для экструзии расплавов должны применяться полимеры с довольно узким интервалом колебания вязкости.

Основными технологическими характеристиками одношнекового экструдера являются L, D, L/D, скорость вращения шнека n, геометрический профиль шнека (см. рис.3) и степень сжатия (компрессии) – отношение объема одного витка червяка в зоне загрузки к объему одного витка в зоне дозирования.

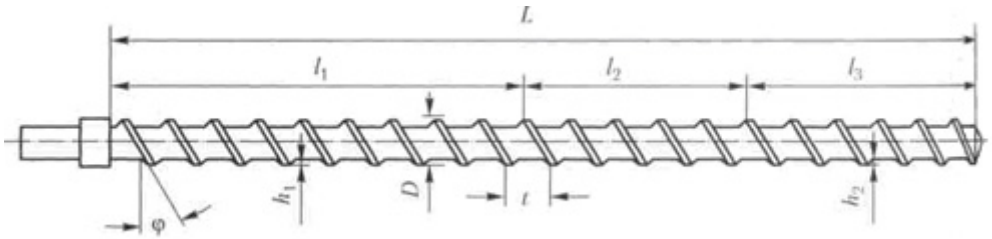

Рис. 25. Схема зонной конструкции шнека

Короткошнековые экструдеры имеют L/D= 12-18, длинношнековые L/D> 30. Наиболее распространены экструдеры с L/D = 20-25.

Показателем работы экструдера является его эффективность- отношение производительности к потребляемой мощности.

Материалы. Большинство термопластов и композиций на их основе могут перерабатываться экструзией. Для этого достаточно, чтобы время пребывания расплава в экструдере при данной температуре было меньше времени термостабильности полимера при той же температуре. Наиболее широко применяется экструзия крупнотоннажных полимеров следующих типов. ПЭ, ПП, ПС ПК ПА, ПВХ (пластифицированный и непластифицированный), ПЭТФ а также смеси с неорганическими и полимерными наполнителями и более сложные композиции на их основе.

Для экструзии применяются материалы и режимы переработки при которых ПТР меняется в пределах 0,3 - 12 г/10 мин, т.к. из маловязких расплавов невозможно получить сплошную экструзионную заготовку в виде пленки, трубы, профиля. Если же используются литьевые марки полимера, то из них можно получить экструзией лишь отдельные типы изделий, так как ПТР у них находится в пределах 0,8 - 20 г/10 мин. Так, трубы, кабельные покрытия производят из расплава полимера с ПТР от 0,3 до 1 г/10 мин. Это связано с выбором полимера большой молекулярной массы. Последняя определяет эксплуатационные свойства изделий - повышенные физико-механические характеристики.

Пленки, листы изготавливают экструзией расплава с ПТР в пределах 1 - 4 г/10 мин.

Дискретные изделия, производимые экструзией расплава с последующим раздувом в форме, получают из расплава с ПТР = 1,5 - 7,0 г/10 мин.

Ламинирование с помощью экструзии происходит при ПТР расплава в пределах 7 - 12 г/10 мин.

Изделия. Все изделия, получаемые на основе термопластов методом экструзии, могут иметь в принципе неограниченную длину. Поперечник изделий ограничивается главным образом диаметром шнека экструдера. Чем больше *D*, тем шире, толще могут получаться изделия.

3. Основные элементы и этапы проектирования пресс-формы

3.1. Основные элементы пресс-формы

1) Устройство пресс-формы

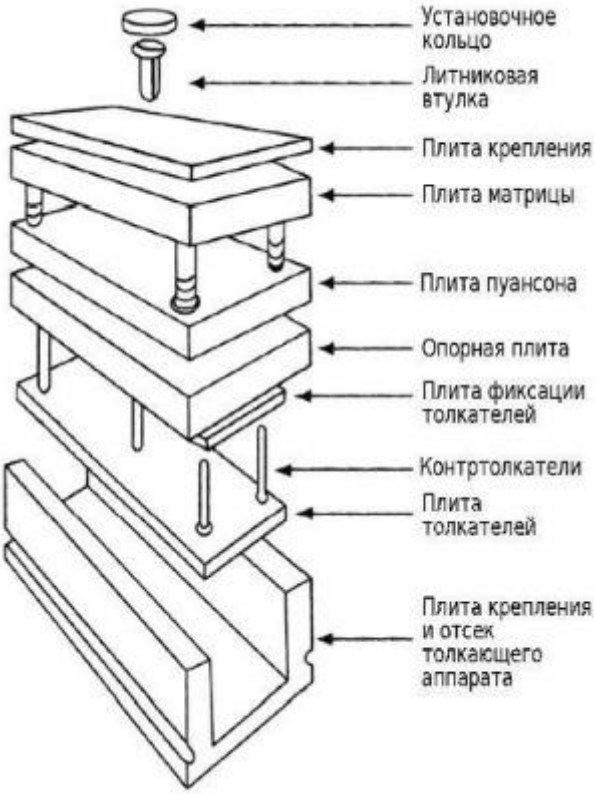

Рис. 26.

Основными составляющими пресс-формы являются:

1. Блок, который состоит из двух плит, одна из которых крепится к неподвижной части станка.

2. Пакет – так называют группу более мелких компонентов внутри блока. Сюда входят:

- Матрицы и паунсоны;
- Обоймы для формообразующих деталей;
- Плита толкателей;
- Выталкиватели;
- Хвостовик;
- Подкладные брусья;
- Подкладные плиты.

3. Литниковая система.

2) Конструкция и виды пресс форм

Пресс-форма для литья пластмасс под давлением представляет из себя довольно сложное устройство, эксплуатируемое в условиях нагрузок в сотни тонн, циклических перепадов температуры на сотни градусов, испытывающее воздействие агрессивных веществ, выделяющихся из пластика. При этом, для получения качественной отливки, точность примыкания формообразующих деталей формы, должна составлять сотые доли миллиметра. Для выполнения этих довольно жестких требований, разработчиками и изготовителями пресс-форм было выработано множество типовых конструктивных решений, упрощающих и ускоряющих процесс производства.

Пресс-форма - это устройство для литья под давлением объёмных деталей из полимеров, резин и других материалов.

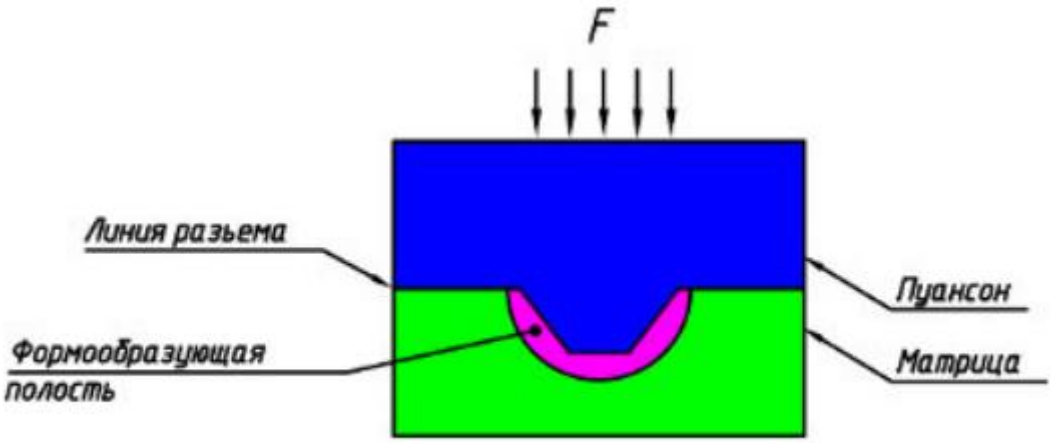

Рис. 27.

Пуансон – подвижная деталь пресс-формы, передающая давление на формуемый материал. Пуансон, как правило, имеет выступы, оформляющие внутреннюю поверхность изделия. Поскольку деталь в процессе охлаждения усаживается и обжимает эти выступы, съём готового изделия после раскрытия формы осуществляется чаще всего с пуансона.

Матрицей называется неподвижная часть пресс-формы, обычно имеющая впадины и оформляющая наружную поверхность детали. Подача материала в полость формы осуществляется через канал в матрице - литниковую втулку.

Формообразующая или формующая полость – полость между матрицей и пуансоном для загрузки материала, повторяющая собой форму будущей детали.

Линия разъема – поверхность смыкания пуансона и матрицы. В простых пресс-формах линия разъема представляет собой плоскость, а в сложных состоит из одной или нескольких сложных поверхностей, образуемых пуансоном, матрицей и другими подвижными элементами формы.

Двухплитные пресс-формы

Самым простым и одновременно самым распространенным типом пресс-формы является холодноканальная форма с двумя плитами.

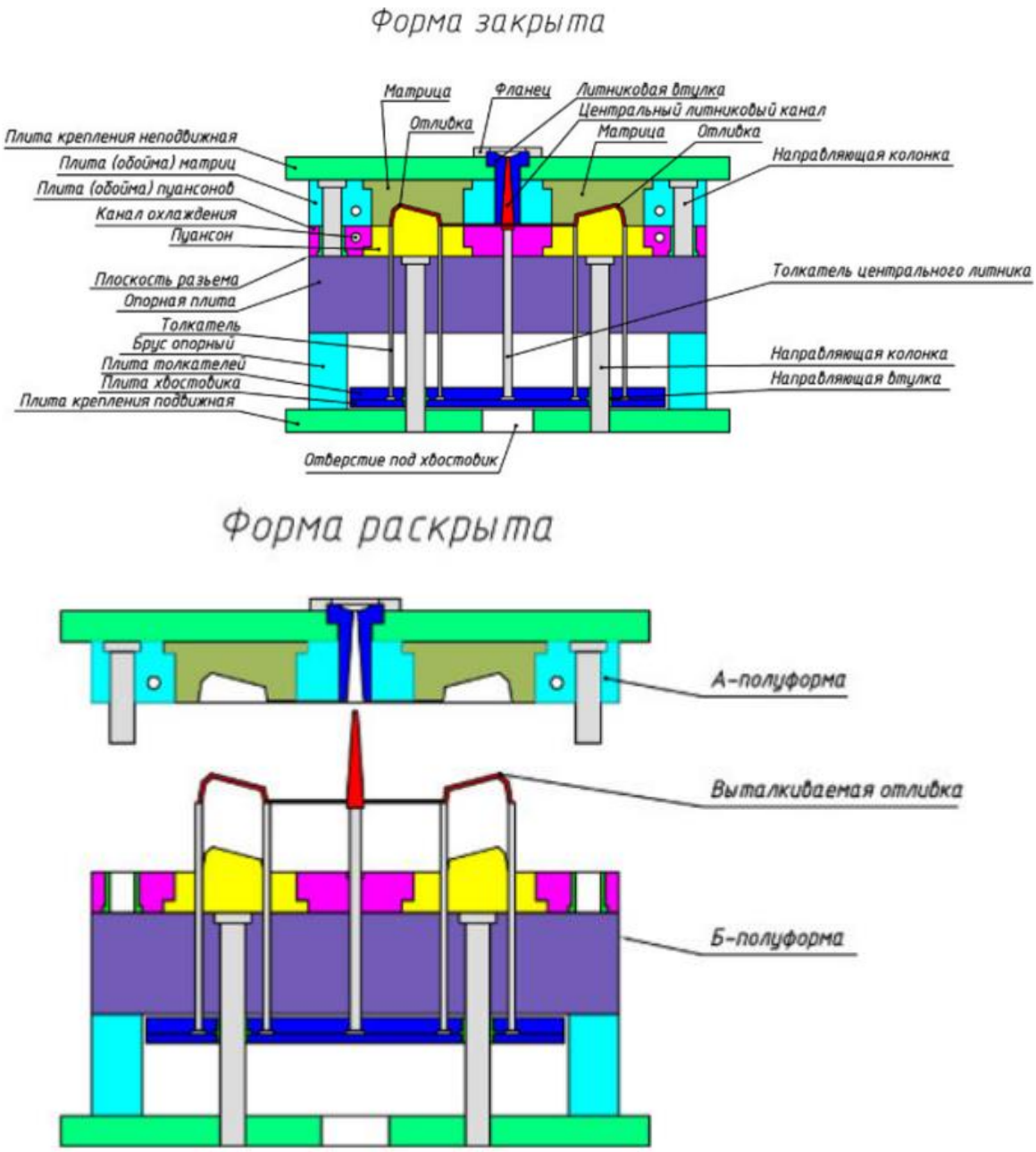

Рис. 28.

На рисунке 28 показана пресс-форма с центральным литниковым каналом, обеспечивающим прохождение расплавленного материала от узла впрыска до разводящего литника, проходящего по линии разъёма. Из разводящего литника расплав попадает непосредственно в формующую полость. В самом простом случае разводящий литник в пресс-форме может отсутствовать, а материал из литниковой втулки - подаваться непосредственно в полость. Изделия, полученные на таких пресс-формах

легко определить по крупному круглому срезу - следу обрезки "морковки" литника, обычно расположенному в самом центре детали.

Представленная пресс-форма имеет одну плоскую линию разъёма, которая размыкается в каждом цикле литья для извлечения изделия и удаления литника. Извлечение изделия и отделение литников обеспечивается толкающей системой пресс-формы, состоящей из плиты толкателей, плиты хвостовика и множества отдельных толкателей. Толкатели бывают различной формы, но самые распространенные - цилиндрические. Круглые следы от них можно увидеть на внутренней поверхности большинства пластмассовых деталей.

Рабочие части пресс-формы - пуансон, матрица и различные вставки, называемые также "знаки", определяют конфигурацию отливаемой детали. Части формы, составляющие собой её каркас, называются несущими, или опорными плитами. Несмотря на то, что эти плиты должны выдерживать циклические нагрузки в сотни, а иногда и в тысячи тонн, они изготавливаются из более мягкого металла, по сравнению с рабочими частями формы. Это позволяет удешевить пресс-форму и упростить её изготовление.

Важным элементом конструкции формы является её теплообменник. По существу теплообменник - это множество круглых отверстий сложной конфигурации, пронизывающих плиты и рабочие части пресс-формы. Вода, пропускаемая через эти каналы, обеспечивает быстрое и равномерное охлаждение детали в формующей полости.

Трёхплитные пресс-формы

Трехплитная форма обладает двумя линиями разъёма, одна из которых служит для освобождения детали, а другая, параллельная основной - для извлечения застывшего литника. Такая конструкция позволяет усложнить разводящий литник и осуществлять впрыск не только по периметру, но и в любой точке формующей плоскости. При этом точка впрыска может иметь

диаметр около одного миллиметра, а разводящий литник отделяется автоматически при раскрытии формы.

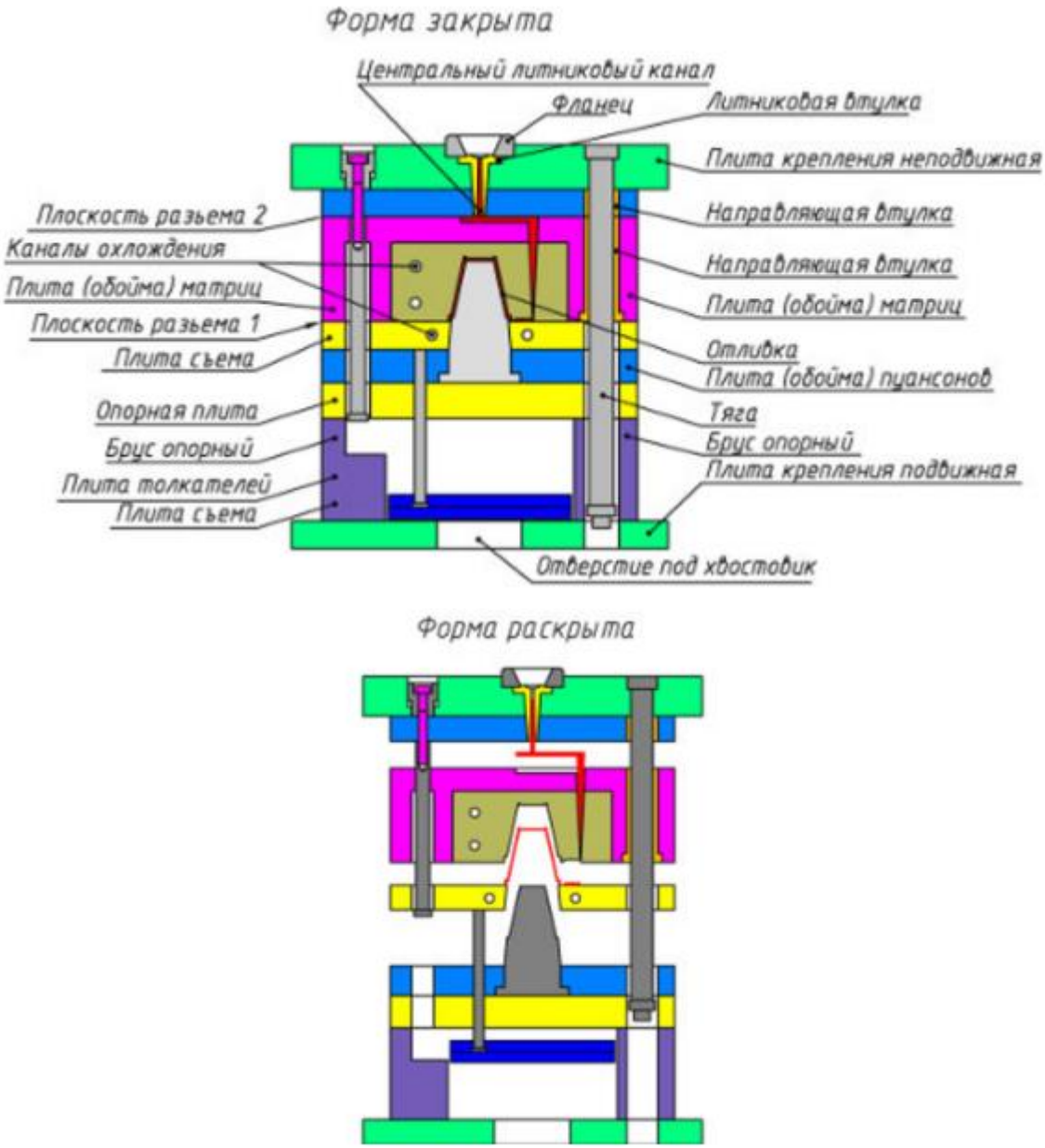

Рис. 29.

В форме, показанной на рисунке 29, цикл съёма начинается с открытия формы по первой линии разъёма, проходящей между плитой пуансона и матрицы. При этом разводящий литник отрывается от детали. После того, как деталь полностью освобождена, начинается раскрытие второй линии разъёма с извлечением литника.

В приведенной на рисунке пресс-форме, снятие отливки с пуансона производится плитой съёма. Такой метод применяется в случаях, когда

наличие на детали следов толкателей недопустимо, или если необходимо обеспечить равномерное распределение усилия сталкивания.

Горячеканальные формы

В холодноканальных пресс-формах литник в каждом цикле должен быть остужен и в твердом виде выталкнут вместе с отливками, чтобы потом отправиться на измельчение и вторичную переработку. В горячеканальных же формах литниковая система снабжена электронагревателем, который постоянно поддерживает материал в расплавленном состоянии. Литник теперь не нужно извлекать, а значит сокращается время охлаждения формы и уменьшается объем отходов материала.

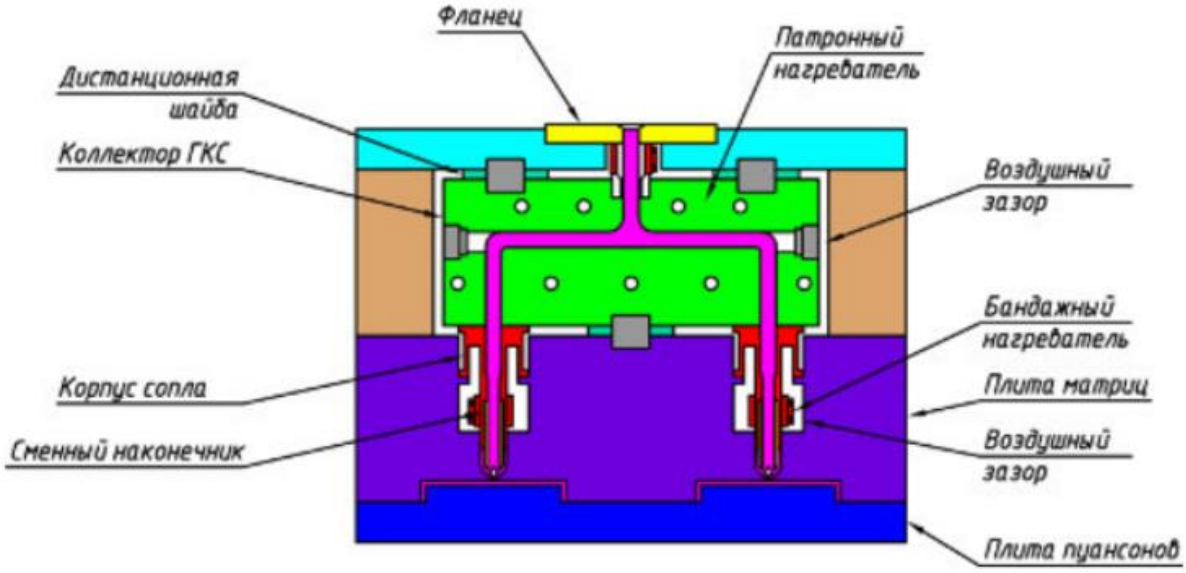

Рис. 30.

Литниковая система горячеканальных форм включает в себя два основных элемента – разводящие коллекторы и систему сопел. Коллектор системы, расположенный в плите матрицы, доставляет расплавленный материал от сопла литьевой машины к соплам. Сопла подают материал прямо в формующую полость или в холодный разводящий литник, аналогичный по конструкции с литником двухплитной формы.

Конструктивное исполнение ключевых элементов горячеканальной системы - коллектора и сопел весьма разнообразно. Поскольку эти элементы довольно часто выходят из строя, изготовители пресс-форм стараются

использовать стандартные модели от специализированных производителей, а не изготавливать их самостоятельно.

Конструкция горячеканальной формы похожа на трехплитную, во второй линии разъема которой расположился коллектор горячего канала. Для управления нагревательными элементами используется специальный контроллер.

3.2. Проектирование и изготовление пресс-формы

Создание пресс-форм для литья пластмасс – важный процесс, требующий четкого соблюдения технологических этапов работ. От точности оснастки напрямую зависит качество будущих отливок.

Нарушение технологии при изготовлении пресс-форм может привести к неоднородности структуры, образованию полостей, раковин и трещин, нарушению геометрических параметров будущих отливок.

Изготовление форм выполняется поэтапно.

1. Первый этап

Создание пресс-форм начинается с их проектирования. Готовится эскиз, разрабатываются рабочие чертежи. Выполняется трехмерная модель изделия, направляемого в производство, при помощи компьютерного 3D моделирования. Рабочий проект согласовывается с заказчиком.

2. Второй этап

Изготавливается детальный прототип нужной конструкции. Разрабатывается технология, пишутся технологические программы для автоматизированных станков с ЧПУ.

3. Третий этап

Создаются формы на фрезерных и электроэрозионных станках.

Вырезаются формообразующие полости из стальных заготовок. Металл снимается послойно.

Между этапами работ выполняется нормализация стали для снятия напряжений в массиве, закалка – для увеличения прочности и предотвращения деформаций.

Выполняется шлифовка и полировка изделий. Готовые элементы собираются в единую пресс-форму.

Для повышения износостойкости и создания идеально гладких поверхностей выполняется хромирование формообразующих поверхностей.