

## Лекция 7. Получение изделий из полимеров.

**Пластмассами** называют такие материалы, которые содержат в качестве основного компонента полимер, при переработке в изделия проявляют пластические свойства, а в обычных условиях представляют собой твердые или упругие вещества. Полимерами являются вещества, молекулы которых состоят из многократно повторяющихся звеньев одинакового химического состава и строения и представляют собой длинные цепи.

- Благодаря цепному строению полимеры отличаются гибкостью и большой механической прочностью, пригодны к переработке в тонкие пленки и волокна. Из них получают самые разнообразные изделия — мелко- и крупногабаритные детали машин и механизмов, строительные конструкции, весьма прочные покрытия, устойчивые к действию агрессивных сред, а также высоких и низких температур, изоляционные материалы.

- Полимеры заменяют легированную сталь и различные металлы, стекло, а вспененные полимеры — пенопласты — используются вместо войлока и ваты в качестве тепло- и звукоизоляционных материалов. Пластмассы стали самостоятельным классом материалов, без которых не мыслится развитие современной техники. От товаров массового спроса до деталей космических кораблей - таково в настоящее время назначение пластмасс. Постоянно растущие запросы народного хозяйства, порождаемые научно-технической революцией, требуют увеличения масштабов производства пластмасс и разработки новых синтетических материалов.

- Многие синтетические полимеры могут совмещаться с большим количеством (до 20% по массе.) дешевых и доступных природных веществ (например, песка) без утраты при этом полезных эксплуатационных свойств. Такие материалы получили название *норпластов (наполненные органические пластмассы)*. Применением норпластов в народном хозяйстве достигается существенная экономия полимеров.

- Влияние полимеров на свойства пластмасс, в которые они входят, очень велико. Поэтому в названии пластмасс обычно содержится наименование того полимера, на основе которого приготовлена данная пластмасса, например: поливинилхлоридная, фенолоформальдегидная, поликарбонатная и т. д. Кроме полимера, пластмассы содержат другие важные вещества, которые называют вспомогательными добавками - это *пластификаторы, стабилизаторы, пигменты и красители, антистатик, наполнители* и др. Таким образом, пластмассы представляют собой сложные композиции различных веществ, главнейшими из которых являются полимеры.

- Полимеры в чистом виде, полученные с промышленных предприятий после их выделения и очистки, называются "*первичными*" полимерами или "*первичными*" смолами. За исключением некоторых полимеров, таких, как полистирол, полиэтилен, полипропилен, первичные полимеры обычно не пригодны для прямой переработки. Первичный поливинилхлорид, например, является материалом рогоподобной фактуры и не может быть сформован без предварительного смягчения путем добавления пластификатора.

- Для формования натурального каучука требуется введение в него вулканизирующего агента.
- Большинство полимеров защищают от термической, окислительной и фотодеструкции введением в них подходящих стабилизаторов. Добавление в полимер красителей и пигментов перед формованием позволяет получить изделия самых различных цветов. Для уменьшения трения и улучшения течения полимера внутри перерабатывающего оборудования в большинство полимеров добавляют смазочные материалы и вещества для улучшения технологических свойств. Наполнители же в полимер обычно добавляют для придания им специальных свойств и уменьшения стоимости конечного продукта.

- Процесс, включающий в себя введение таких ингредиентов, как пластификаторы, вулканизирующие агенты, отвердители, стабилизаторы, наполнители, красители, пламегасители и смазочные вещества, в первичный полимер, называют *“компаундированием”*, а смеси полимеров с этими добавками – *“компаундами”*.

- Первичные пластические полимеры, такие, как полистирол, полиэтилен, полиметилметакрилат и поливинилхлорид, обычно находятся в виде сыпучих мелких порошков. Ингредиенты в виде мелкого порошка или жидкости смешивают с порошкообразным первичным полимером с использованием планетарных миксеров, V-смесителей, мешалок с ленточной винтовой лопастью, Z-миксеров или опрокидывателей. Смешивание можно проводить или при комнатной, или при повышенной температуре, которая, однако, должна быть намного ниже температуры размягчения полимера. Жидкие формполимеры смешивают с использованием простых высокоскоростных мешалок.

- Первичные эластомерные полимеры, такие, как натуральный каучук, бутадиенстирольный каучук или нитрильный каучук, получают в виде крошки, спрессованной в толстые пластины, называемые "*кипами*". Они, как правило, смешаны с вулканизирующими агентами, катализаторами, наполнителями, антиоксидантами и смазочными материалами. Поскольку эластомеры не являются сыпучими порошками, как первичные пластические материалы, их нельзя смешивать с названными выше ингредиентами, используя методы, применяемые для первичных пластиков.

- Получение компаунда первичных эластомеров включает в себя вальцевание крошки в пластичные листы и последующее введение в полимер требуемых ингредиентов.
- Эластомеры в виде латекса или низкомолекулярных жидких смол могут быть смешаны простым перемешиванием с использованием высокоскоростных мешалок.
- В случае волокнообразующих полимеров компаундирование не проводят. Такие компоненты, как смазочные вещества, стабилизаторы и наполнители, обычно напрямую вводят в расплав или раствор полимера непосредственно перед прядением нити.

# Технология переработки

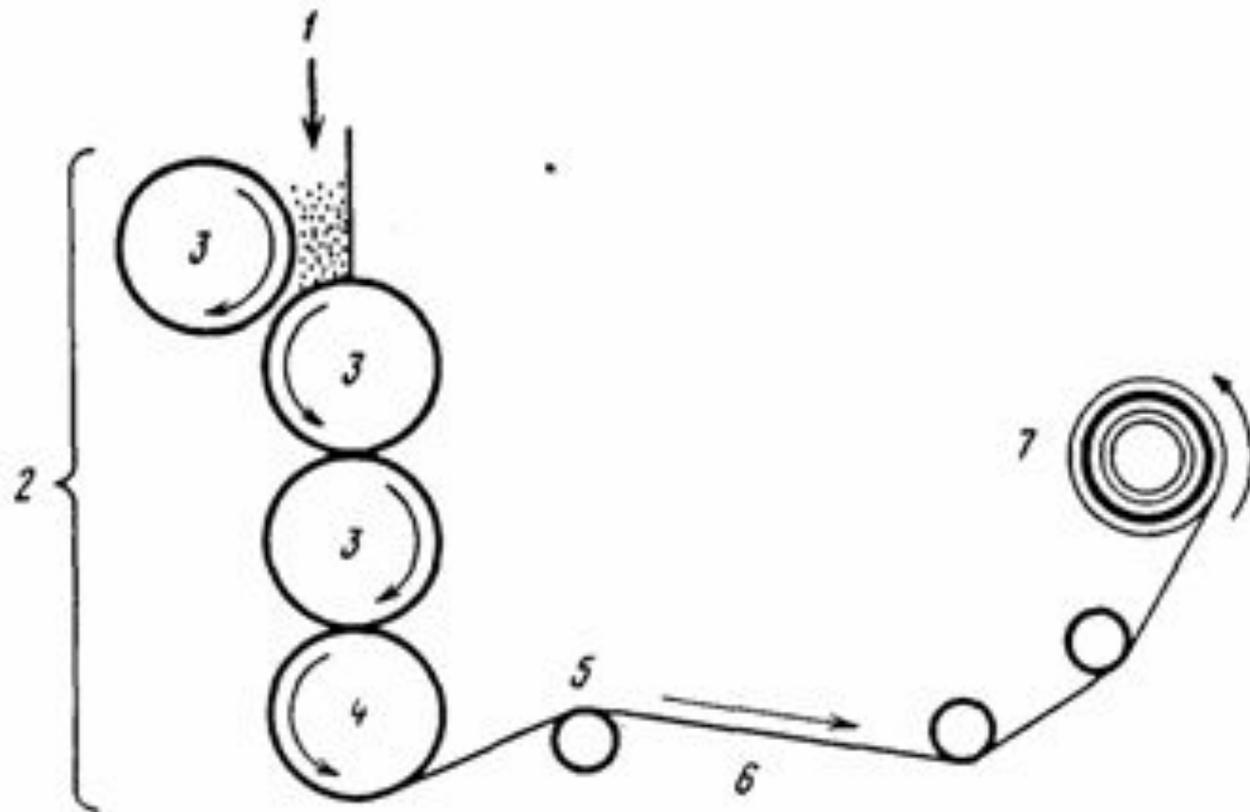
- Тот факт, что полимерные материалы используют в самых различных формах, таких, как стержни, трубы, листы, пенопласты, покрытия, а также как прессованные изделия, подразумевает наличие разнообразных способов переработки полимерных компаундов в конечные продукты. Большинство полимерных изделий получено либо формованием, либо обработкой, либо отливкой жидких форполимеров в форме с последующим отверждением или сшиванием. Волокна получают в процессе прядения.

- Процесс формования можно сравнить, например, с лепкой какой-либо фигуры из глины, а процесс обработки — с вырезанием той же фигуры из куска мыла. В процессе формования компаунд в виде порошка, чешуек или гранул помещают в пресс-форму и подвергают воздействию температуры и давления, в результате чего образуется конечный продукт. В процессе обработки получают изделия в виде простых форм, таких, как листы, стержни или трубы, используя штамповку, склейку и сварку.

- Напомним, что полимерные материалы могут быть *термопластичными* или *терморреактивными* (*термоотверждающимися*). После формования термопластичных материалов под действием температуры и давления перед освобождением из пресс-формы их следует охладить ниже температуры размягчения полимера, так как в противном случае они теряют форму. В случае терморреактивных материалов такой необходимости нет, поскольку после однократного совместного воздействия температуры и давления изделие сохраняет приобретенную форму даже при его освобождении из пресс-формы при высокой температуре.

# Каландрование

- Процесс каландрования обычно применяют для производства непрерывных пленок и листов. Основной частью аппарата (рис.1) для каландрования является комплект гладко отполированных металлических валков, вращающихся в противоположных направлениях, и устройство для точного регулирования зазора между ними. Зазор между валками определяет толщину каландрованного листа.



- Рис. 1. Схема аппарата для каландрования  
 1 — полимерный компаунд; 2 — каландровочные валки: горячие (3) и холодный (4); 5 — каландрованный лист; 6 — направляющие валки; 7 — сматывающее устройство.

- Полимерный компаунд подается на горячие валки, а лист, поступающий с этих валков, охлаждается при прохождении через холодные валки. На последнем этапе листы сматываются в рулоны. Однако если вместо листов требуется получить тонкие полимерные пленки, применяют серию валков с постепенно уменьшающимся зазором между ними. Обычно в листы каландруют такие полимеры, как поливинилхлорид, полиэтилен, каучук и сополимер бутадиена, стирола и акрилонитрила.

# Литье

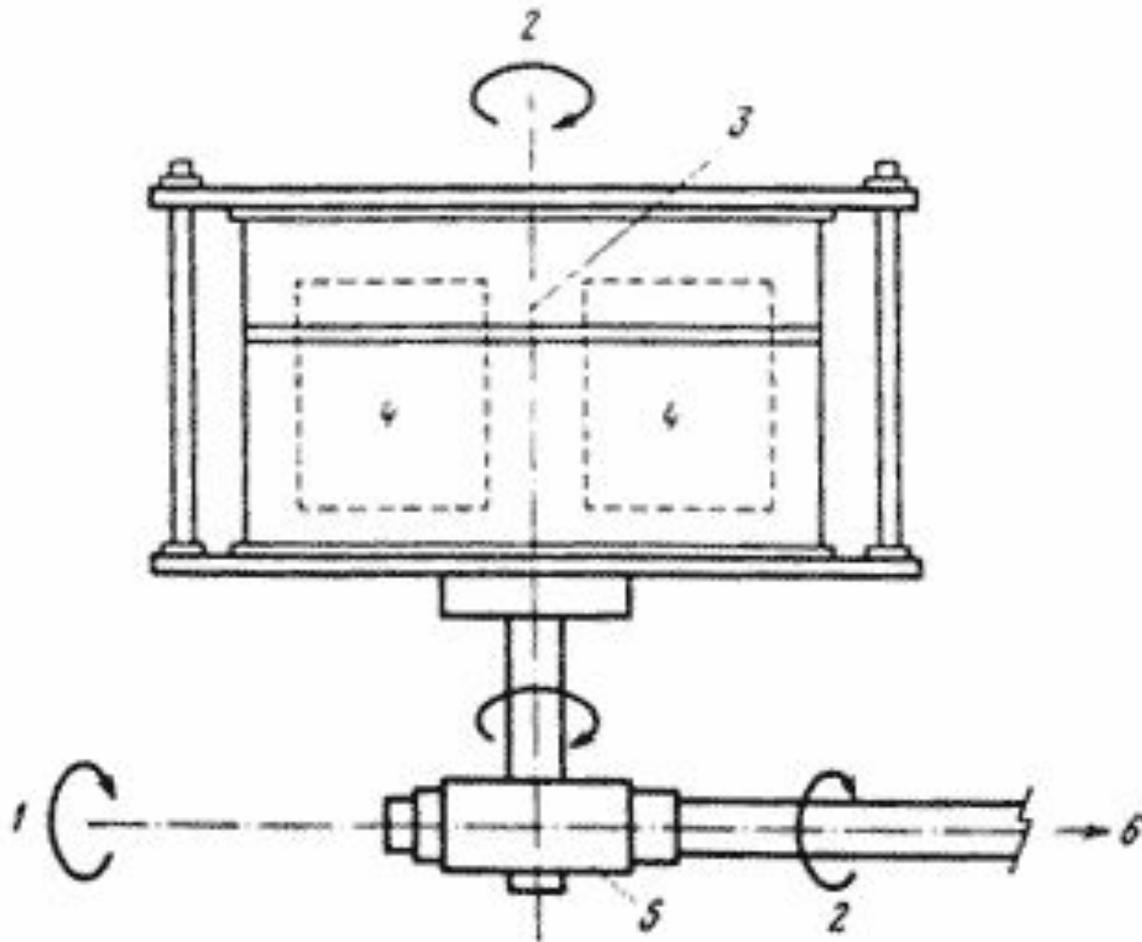
- Литье в форме. Это сравнительно недорогой процесс, который состоит в переработке жидкого форполимера в твердые изделия требуемой формы. Этим методом могут быть получены листы, трубы, стержни и т.п. изделия ограниченной длины. Схематически процесс литья в форме представлен на рис.2. В этом случае форполимер, смешанный в соответствующих пропорциях с отвердителем и другими ингредиентами, выливают в чашку Петри, которая и служит формой. Затем чашку Петри помещают на несколько часов в печь, нагретую до необходимой температуры, до полного завершения реакции отверждения. После охлаждения до комнатной температуры твердый продукт вынимают из формы. Твердое тело, отлитое таким образом, будет иметь форму внутреннего рельефа чашки Петри.



- Рис.2. Простейшее изображение процесса литья в форме а) — наполнение чашки Петри форполимером и отвердителем; б) - нагревание в печи; в) — извлечение из формы остывшего продукта.

- Если вместо чашки Петри использовать цилиндрическую стеклянную трубу, закрытую с одного конца, можно получить изделие в виде цилиндрического стержня. Кроме того, вместо форполимера и отвердителя в форме можно вылить смесь мономера, катализатора и других ингредиентов, нагретую до температуры полимеризации. Полимеризация в этом случае будет протекать внутри формы до образования твердого продукта. Для литья в форме подходят акрилы, эпоксидаы, полиэфирьы, фенолы и уретаны.

- Компаунд термопластического материала в виде мелкого порошка помещают в полую форму. Используемый аппарат имеет специальное приспособление для одновременного вращения формы вокруг первичной и вторичной осей. Форму закрывают, нагревают и вращают. Это приводит к однородному распределению расплавленного пластика по всей внутренней поверхности полой формы. Затем вращающуюся форму охлаждают холодной водой. При охлаждении расплавленный пластический материал, однородно распределенный по внутренней поверхности формы, затвердевает. Теперь форму можно открывать и вынуть конечное изделие.

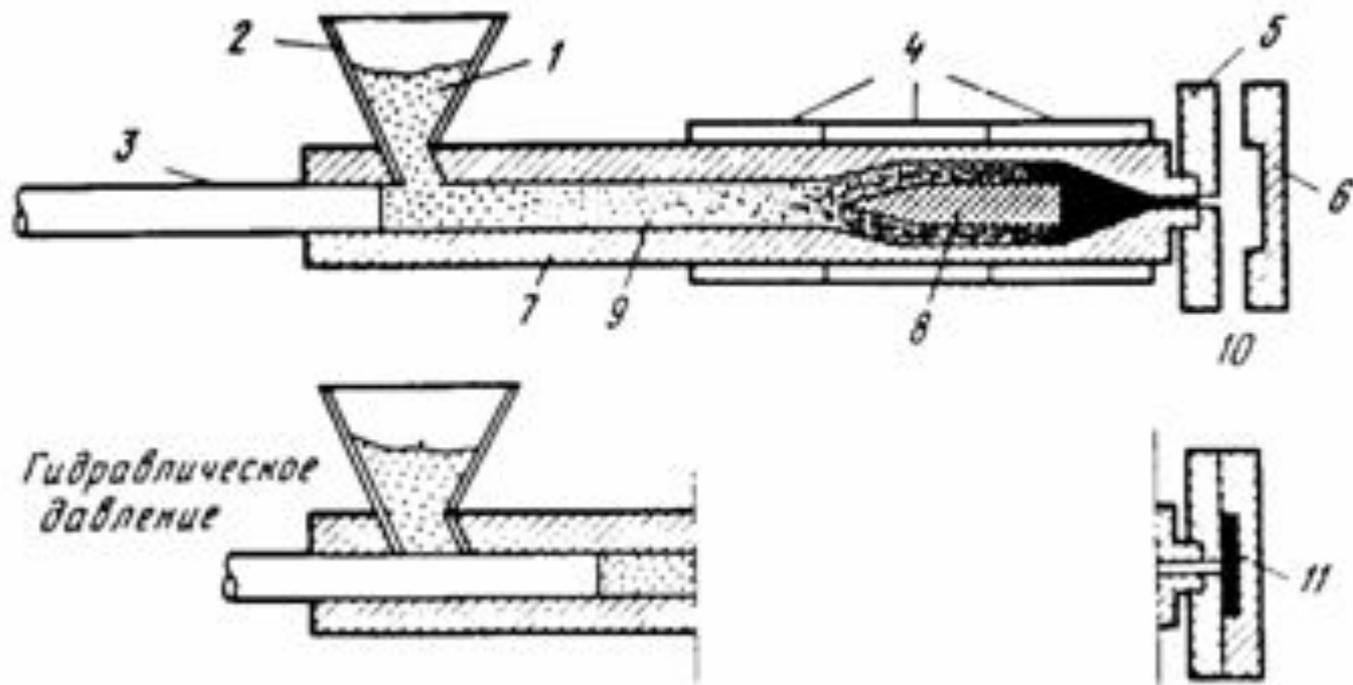


- Рис.3. В процессе ротационного литья полые формы, наполненные полимерным материалом, одновременно вращают вокруг первичной и вторичной осей  
 1 — первичная ось; 2 — вторичная ось; 3 — деталь разъемной формы; 4 — полости формы; 5 — кожух зубчатой передачи; 6 — к мотору

- Ротационным литьем производят изделия из поливинилхлорида, такие, как галоши, полые шары или головы для кукол. Отверждение поливинилхлорида осуществляется путем физического гелеобразования между поливинилхлоридом и жидким пластификатором при температурах 150 – 200 °С. Мелкие частицы поливинилхлорида однородно диспергированы в жидком пластификаторе вместе со стабилизаторами и красителями, образуя, таким образом, вещество со сравнительно низкой вязкостью. Этот пастообразный материал, называемый "пластизоль", загружают в форму и откачивают из нее воздух. Затем форму начинают вращать и нагревать до требуемой температуры, что приводит к гелеобразованию поливинилхлорида. Толщина стенок образующегося продукта определяется временем гелеобразования.

- Литье под давлением. Наиболее удобным процессом для производства изделий из термопластичных полимеров является процесс литья под давлением. Несмотря на то что стоимость оборудования в этом процессе достаточно высока, его несомненным достоинством является высокая производительность. В этом процессе дозированное количество расплавленного термопластичного полимера впрыскивается под давлением в сравнительно холодную пресс-форму, где и происходит его затвердевание в виде конечного продукта.

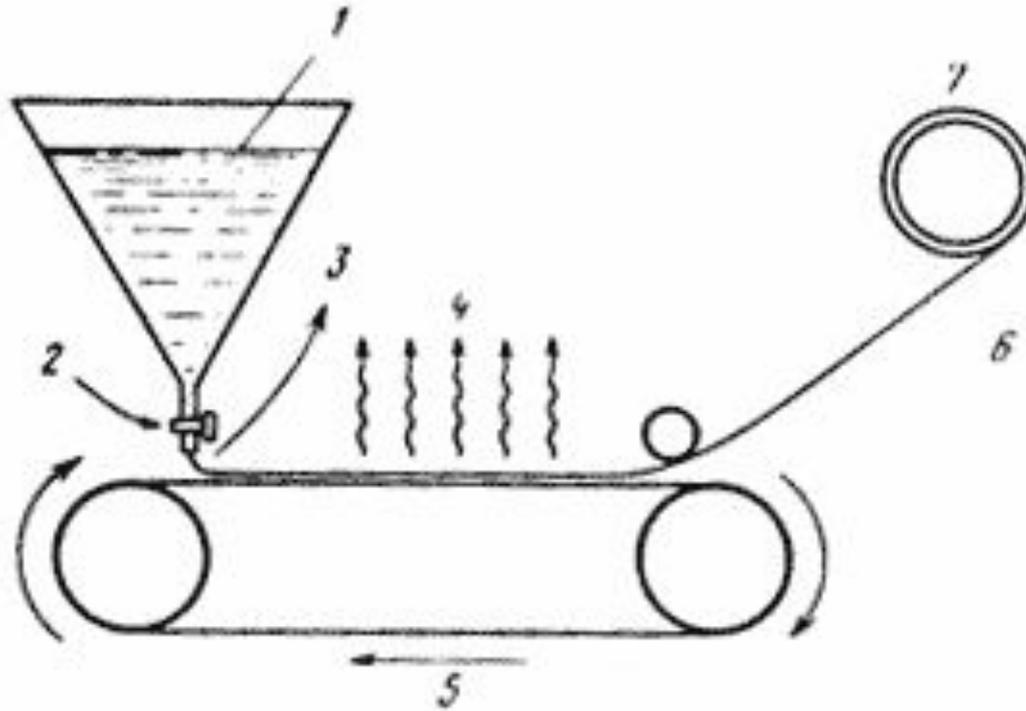
- Процесс состоит из подачи компаундированного пластического материала в виде гранул, таблеток или порошка из бункера через определенные промежутки времени в нагретый горизонтальный цилиндр, где и происходит его размягчение. Гидравлический поршень обеспечивает давление, необходимое для того, чтобы протолкнуть расплавленный материал по цилиндру в форму, расположенную на его конце. При движении полимерной массы вдоль горячей зоны цилиндра устройство, называемое "торпедой", способствует однородному распределению пластического материала по внутренним стенкам горячего цилиндра, обеспечивая таким образом равномерное распределение тепла по всему объему. Затем расплавленный пластический материал впрыскивают через литьеовое отверстие в гнездо пресс-формы.



- Рис. 4. Схематическое изображение процесса литья под давлением  
 1 — компаундированный пластический материал; 2 — загрузочная воронка; 3 — поршень; 4 — электрический нагревательный элемент; 5 — стационарная часть формы; 6 — подвижная часть формы; 7 — основной цилиндр; 8 - торпеда; 9 - размягченный пластический материал; 10 — пресс-форма; 11 - изделие, сформованное методом литья под давлением

- При помощи специального механического устройства пресс-форма плотно закрывается, и в это время происходит впрыскивание расплавленного пластического материала под давлением  $1500 \text{ кг/см}^2$ . Закрывающее механическое устройство должно быть сделано таким образом, чтобы выдерживать высокие рабочие давления. Равномерное течение расплавленного материала во внутренних областях пресс-формы обеспечивается ее предварительным нагревом до определенной температуры. Обычно эта температура несколько ниже температуры размягчения прессуемого пластического материала. После заполнения формы расплавленным полимером ее охлаждают циркулирующей холодной водой, а затем открывают для извлечения готового изделия. Весь этот цикл может быть повторен многократно как в ручном, так и в автоматическом режиме.

- Отливка пленок. Метод отливки используют также и для производства полимерных пленок. В этом случае раствор полимера соответствующей концентрации постепенно выливают на движущийся с постоянной скоростью металлический пояс (рис. 5), на поверхности которого и происходит образование непрерывного слоя полимерного раствора.
- При испарении растворителя в контролируемом режиме на поверхности металлического пояса происходит образование тонкой полимерной пленки. После этого пленка снимается простым отслаиванием. Этим способом получают большинство промышленных целлофановых листов и фотографических пленок.

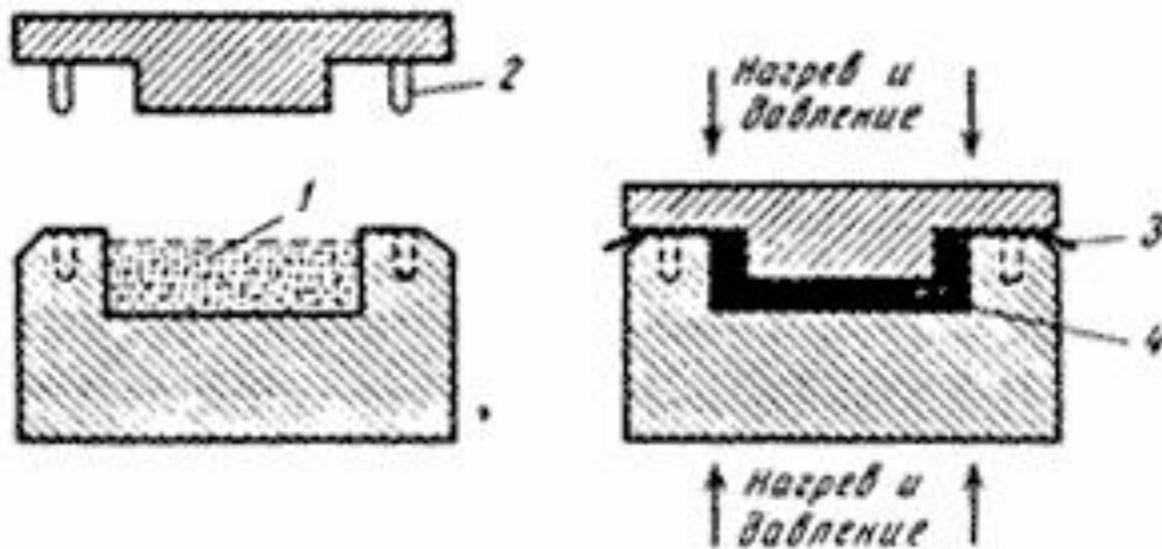


- Рис. 5. Схема процесса отливки пленок  
 1 — раствор полимера; 2 — распределительный клапан; 3 — раствор полимера растекается с образованием пленки; 4 — растворитель испаряется; 5 — бесконечный металлический пояс; 6 — непрерывная полимерная пленка; 7 — сматывающая катушка.

# Прямое прессование

- Метод прямого прессования широко используется для производства изделий из терморезистивных материалов. На рис. 6 представлена типичная пресс-форма, используемая для прямого прессования. Форма состоит из двух частей — верхней и нижней или из пуансона (позитивная форма) и матрицы (негативная форма). В нижней части пресс-формы имеется выемка, а в верхней — выступ. Зазор между выступом верхней части и выемкой нижней части в закрытой пресс-форме и определяет конечный вид прессуемого изделия.

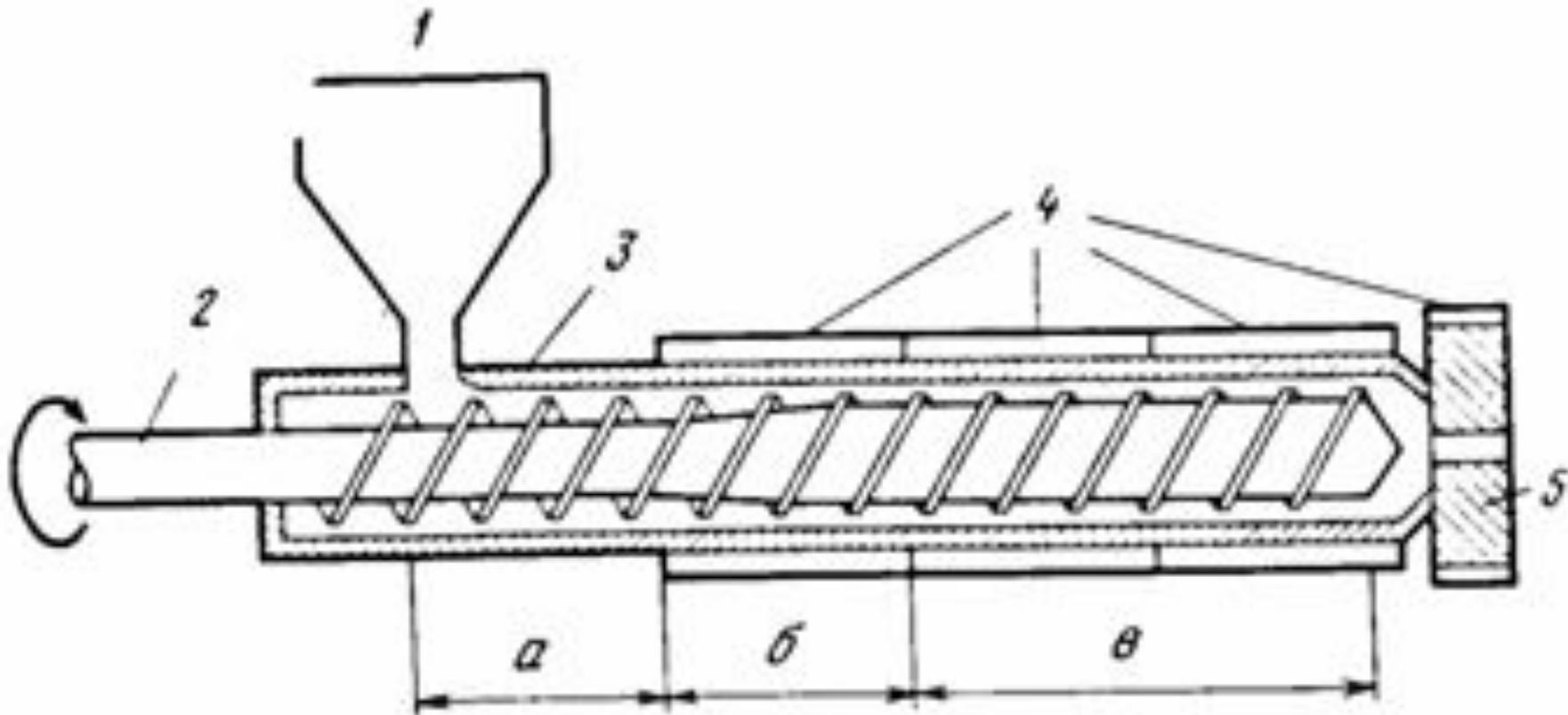
- В процессе прямого прессования терморреактивный материал подвергается однократному воздействию температуры и давления. Применение гидравлического пресса с нагреваемыми пластинами позволяет получить желаемый результат.



- Рис.6. Схематическое изображение пресс-формы, используемой в процессе прямого формования  
 1 — полость формы, наполненная терморреактивным материалом; 2 — направляющие шипы; 3 — заусенец; 4 - сформованное изделие

# Экструзия

- Экструзия является одним из самых дешевых методов производства широко распространенных пластических изделий, таких, как пленки, волокна, трубы, листы, стержни, шланги и ремни, причем профиль этих изделий задается формой выхлопного отверстия головки экструдера. Расплавленный пластик при определенных условиях выдавливают через выходное отверстие головки экструдера, что и придает желаемый профиль экструдату. Схема простейшей экструзионной машины показана на рис.7.

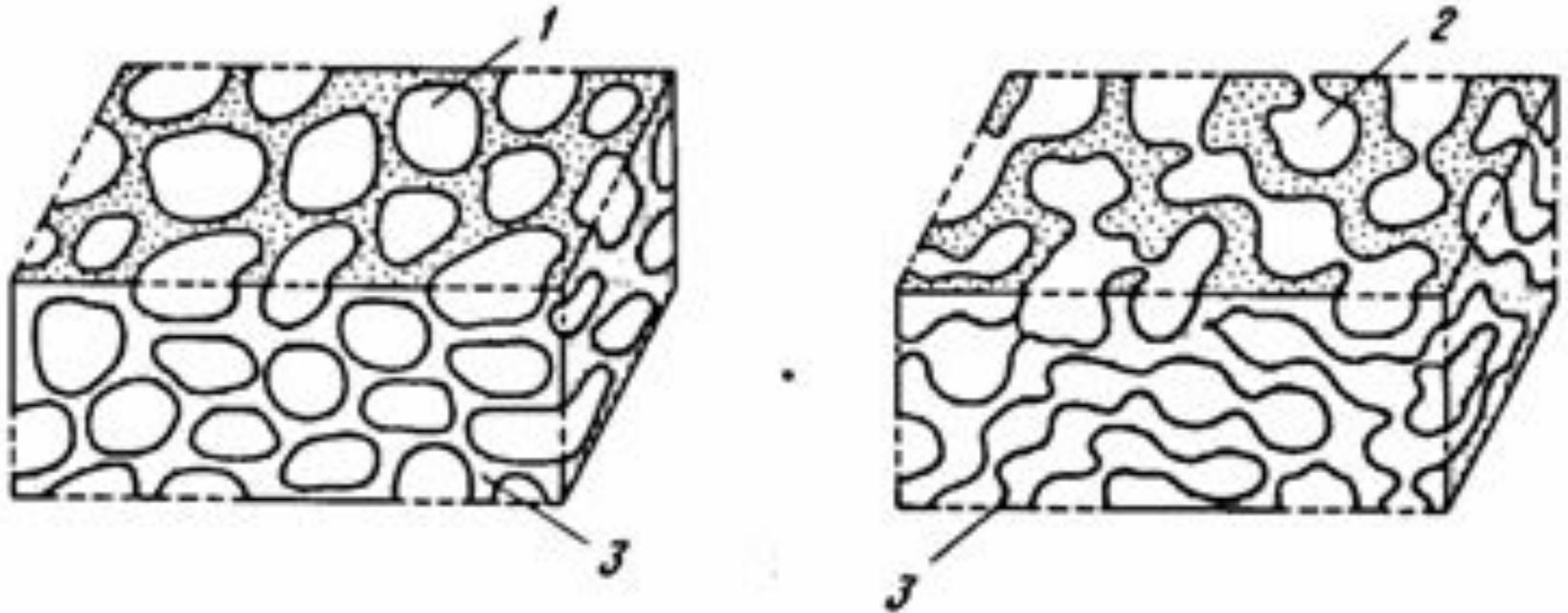


- Рис 8. Схематическое изображение простейшей экструзионной машины. 1 — загрузочная воронка; 2 - шнек; 3 - основной цилиндр; 4 — нагревательные элементы; 5 — выходное отверстие головки экструдера, а — зона загрузки; б — зона сжатия; в ~ зона ГОМОГЕНИЗАЦИИ.

- В этой машине порошок или гранулы компаундированного пластического материала загружают из бункера в цилиндр с электрическим обогревом для размягчения полимера. Спиралевидный вращающийся шнек обеспечивает движение горячей пластической массы по цилиндру. Поскольку при движении полимерной массы между вращающимся шнеком и цилиндром возникает трение, это приводит к выделению тепла и, следовательно, к повышению температуры перерабатываемого полимера. В процессе этого движения от бункера к выходному отверстию головки экструдера пластическая масса переходит три четко разделенные зоны: зону загрузки (а), зону сжатия (б) и зону гомогенизации (в)

# Вспенивание

- Вспенивание является простым методом получения пено- и губкообразных материалов. Особые свойства этого класса материалов — амортизирующая способность, легкий вес, низкая теплопроводность - делают их весьма привлекательными для использования в различных целях. Обычными вспенивающимися полимерами являются полиуретаны, полистирол, полиэтилен, полипропилен, силиконы, эпоксины, ПВХ и пр. Вспененная структура состоит из изолированных (закрытых) или взаимопроникающих (открытых) пустот. В первом случае, когда пустоты закрыты, они могут заключать в себе газы. Оба типа структур схематически представлены на рис. 9.



- Рис. 9. Схематическое изображение ячеистых структур открытого и закрытого типов, образующихся в процессе вспенивания  
 1- дискретные (закрытые) ячейки; 2 —  
 взаимопроникающие (открытые) ячейки;  
 3 — стенки ячеек.

- Существует несколько методов для производства вспененных или ячеистых пластиков. Один из них заключается в том, что через расплавленный компаунд продувают воздух или азот до его полного вспенивания. Процесс вспенивания облегчается при добавлении поверхностно-активных агентов. По достижении требуемой степени вспенивания матрицу охлаждают до комнатной температуры. В этом случае термопластичный материал затвердевает во вспененном состоянии.

- Терморреактивные жидкие форполимеры могут быть вспенены в холодном состоянии, а затем нагреты до полного их отверждения. Обычно вспенивание достигается добавлением в полимерную массу пено- или газообразователей. Такими агентами являются низкомолекулярные растворители или определенные химические соединения. Процесс кипения таких растворителей, как н-пентан и н-гексан, при температурах отверждения полимерных материалов сопровождается интенсивным процессом парообразования.

- Большое количество паров или газов, выделяемых пено- и газообразователями, приводит к вспениванию полимерной матрицы. Полимерную матрицу во вспененном состоянии охлаждают до температур ниже температуры размягчения полимера (в случае термопластичных материалов) или подвергают реакции отверждения или сшивания (в случае терморезактивных материалов), в результате матрица приобретает жесткость, необходимую для сохранения вспененной структуры. Этот процесс называется процессом "стабилизации пены". Если матрицу не охладить ниже температуры размягчения или не сшивать, наполняющие ее газы покидают систему пор и пена коллапсирует.

- Пенопласты могут быть получены в гибкой, жесткой и полужесткой формах. Для того чтобы получить изделия из пенопласта напрямую, вспенивание следует проводить непосредственно внутри пресс-формы. Пенопластовые листы и стержни также могут быть использованы для производства различных изделий. В зависимости от природы полимера и степени вспенивания плотность пенопластов может составлять от 20 до 1000 кг/см<sup>3</sup>. Использование пенопластов весьма многообразно.

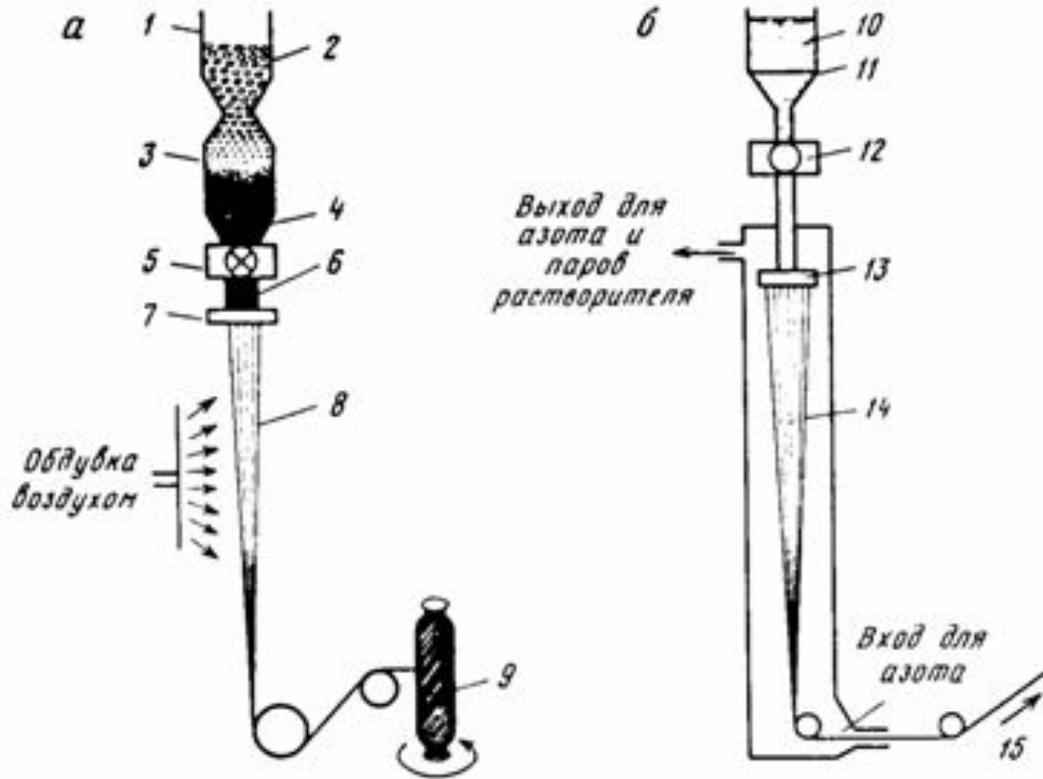
# Армирование

- При армировании пластической матрицы высокопрочным волокном получают системы, называемые "*армированные волокном пластики*" (АВП). АВП обладают весьма ценными свойствами: их отличает высокое отношение прочности к весу, значительная коррозионная стойкость и простота изготовления. Методом армирования волокнами удастся получать широкий круг изделий. Например, конструкторов, создателей космических кораблей при создании искусственных спутников в АВП прежде всего привлекает поразительно высокое отношение прочности к весу. Красивый внешний вид, небольшой вес и коррозионная стойкость позволяют использовать АВП для обшивки морских судов. Кроме того, АВП используют даже в качестве материала для танков, в которых хранят кислоты.

# Прядение волокон

- Полимерные волокна получают в процессе, называемом прядением. Существуют три принципиально различных метода прядения: *прядение из расплава*, *сухое* и *мокрое прядение*. В процессе прядения из расплава полимер находится в расплавленном состоянии, а в других случаях - в виде растворов. Однако во всех этих случаях полимер, в расплавленном или растворенном состоянии, протекает через многоканальный мундштук, представляющий собой пластину с очень мелкими отверстиями для выхода волокон.

- **Прядение из расплава.** В своей простейшей форме процесс прядения из расплава может быть представлен следующим образом. Первоначально полимерные чешуйки расплавляют на нагретой решетке, превращая полимер в вязкую подвижную жидкость. Иногда в процессе нагревания происходит образование комков вследствие протекания процессов сшивания или термической деструкции. Эти комки могут быть легко удалены из горячего полимерного расплава пропусканием через систему блок-фильтров. Кроме того, для предотвращения окислительной деструкции расплав следует защищать от кислорода воздуха.

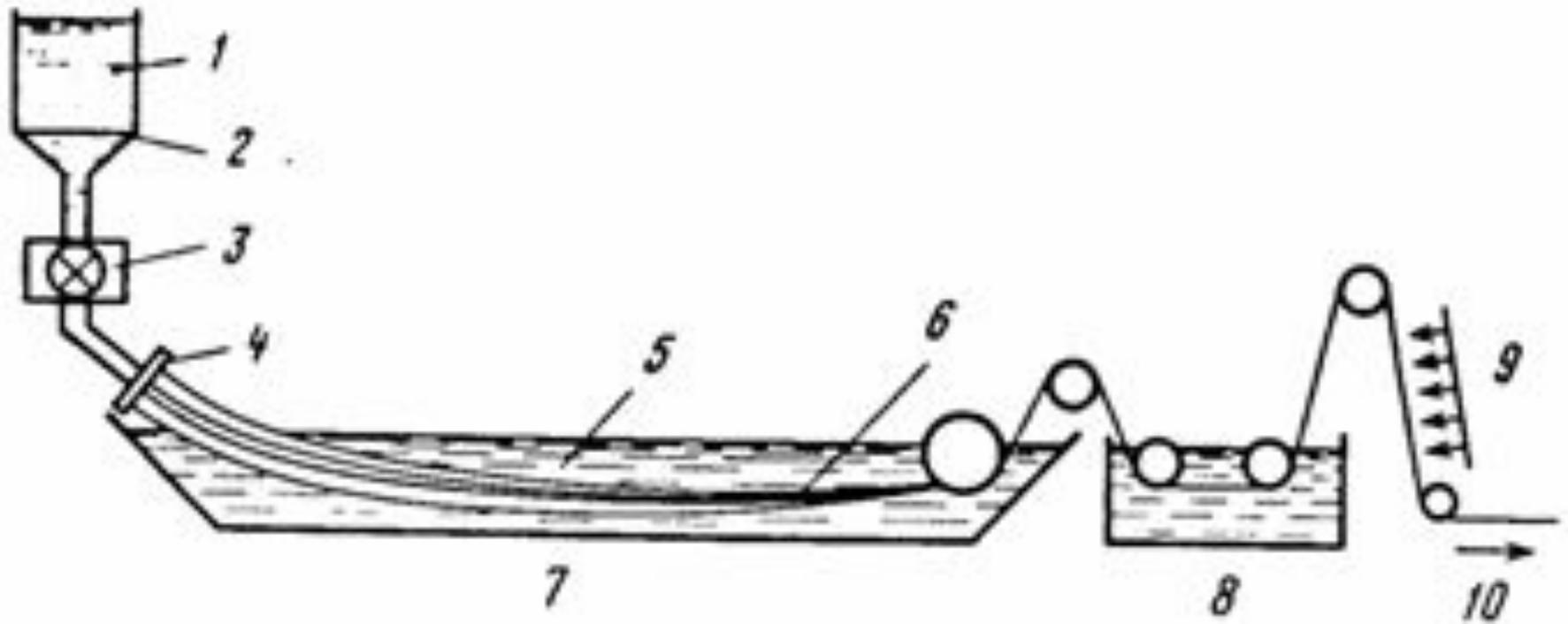


- Рис.10. Схематическое изображение процессов сухого прядения (а) и прядения из расплава (б)  
 1 — загрузочная воронка; 2 — полимерные чешуйки; 3 — нагретая решетка; 4 — горячий полимер; 5 — дозирующий насос; 6 — расплав; 7— многоканальный мундштук, 8 — свежеспряденное волокно; 9 — катушка; 10 — раствор полимера; 11 — фильтр; 12 — дозирующий насос; 13 — многоканальный мундштук; 14 — свежеспряденное волокно; 15 — на катушку.

- Для предотвращения окислительной деструкции расплав следует защищать от кислорода воздуха. Это достигается в основном созданием вокруг расплава полимера инертной атмосферы азота,  $\text{CO}_2$  и водяного пара. Дозирующий насос подает расплав полимера с постоянной скоростью на многоканальный мундштук (*фильеру*). Расплав полимера проходит через систему мелких отверстий мундштука и выходит оттуда в виде непрерывных и очень тонких мононитей. При контакте с холодным воздухом происходит мгновенное затвердевание волокон, выходящих из фильер. Процессы охлаждения и отверждения могут быть в значительной мере ускорены при обдувке холодным воздухом. Выходящие из фильер твердые мононити наматываются на катушки.

- **Сухое прядение.** Большое количество таких традиционных полимеров, как ПВХ или полиакрилонитрил, перерабатывают в волокна в крупных масштабах в процессе сухого прядения. Суть этого процесса показана на рис.10. Полимер растворяют в соответствующем растворителе с образованием высококонцентрированного раствора. Вязкость раствора регулируют увеличением температуры. Горячий вязкий раствор полимера продавливают через фильеры, получая, таким образом, тонкие непрерывные струйки. Волокно из этих струек образуется при простом испарении растворителя. Испарение растворителя может быть ускорено путем обдувания встречным потоком сухого азота. Волокна, образующиеся из раствора полимера, в конце концов наматывают на катушки.

- **Мокрое прядение.** При мокром прядении, как и при сухом, используют сильно концентрированные полимерные растворы, высокую вязкость которых удастся понизить повышением температуры прядения. Детально процесс мокрого прядения показан на рис.11. В процессе мокрого прядения происходит переработка вязкого раствора полимера в тонкие струнки при пропускании через фильеры. Затем эти полимерные струйки попадают в коагуляционную ванну с осадителем, где и происходит высаживание полимера из раствора в виде тонких нитей, которые после промывки, сушки и пр. собирают на катушках.



- Рис.18. Схематическое изображение процесса мокрого прядения. 1 — раствор полимера; 2 — фильтр; 3 — дозирующий насос; 4 — многоканальный мундштук; 5 — осадитель; 6 — свежеспряденное волокно; 7 — ванна для коагуляции и осаждения; 8 — ванна для промывки; 9 — сушка; 10 — на катушку

Вторичная переработка разнообразных полимерных отходов определяется как промышленная переработка использованных пластмассовых изделий в полимерное сырье, подходящее для выпуска других изделий. Вторичную переработку не используют для того чтобы получить энергию.

### **Вторичная переработка пластмасс.**

Количество полимерной продукции с каждым годом возрастает. Исходя из этого, множество современных компаний занимаются таким процессом, как вторичная переработка пластиковых бутылок, ящиков, пленок и т.п. в том числе для того, чтобы избежать загрязнения окружающей среды.

Вторичная переработка полимеров крайне важна, так как утилизация пластиковых отходов является общемировой проблемой. Благодаря прессу национальных законодательств разных стран мира, протестов против захоронения полимерных отходов, на свалках становится все меньше отходов полимерных материалов. Вторичная переработка пластика стала очень важной проблемой всего человечества, с которой нужно бороться уже сегодня.

Использование вторичного сырья в качестве новой ресурсной базы — одно из наиболее динамично развивающихся направлений переработки полимерных материалов в мире. Однако интерес к получению дешевых ресурсов, которыми являются вторичные полимеры, весьма ощутим,

В странах, где охране окружающей среды придают большое значение, объемы переработки вторичных полимеров постоянно увеличиваются. Законодательство обязывает юридических и частных лиц выбрасывать полимерные отходы (гибкую упаковку, бутылки, стаканчики и т. д.) в специальные контейнеры для их последующей утилизации. Сегодня на повестку дня становится не только задача утилизации отходов полимерных материалов, но и восстановления ресурсной базы. Однако возможность использования полимерных отходов для повторного производства ограничивается их нестабильными и худшими по сравнению с исходными полимерами механическими свойствами. Конечная продукция с их использованием часто не удовлетворяет эстетическим критериям. Для некоторых видов продукции использование вторичного сырья вообще запрещено действующими санитарными или сертификационными нормами.

Например, в ряде стран действует запрет на использование некоторых вторичных полимеров для производства пищевой упаковки. Сам процесс получения готовой продукции из вторичных пластиков связан с рядом трудностей. Повторное использование утилизируемых материалов требует особой перенастройки параметров технологического процесса в связи с тем, что вторичный материал изменяет свою вязкость, а также может содержать неполимерные включения. В некоторых случаях к готовой продукции предъявляются особые механические требования, которые просто невозможно соблюсти при использовании вторичных полимеров. Поэтому для использования вторичных полимеров необходимо достижение баланса между заданными свойствами конечного продукта и средними характеристиками вторичного материала. Основой для подобных разработок должна стать идея создания новых изделий из вторичных пластиков, а также частичной замены первичных материалов вторичными в традиционных изделиях. В последнее время процесс вытеснения первичных полимеров на производствах настолько интенсифицировался, что только в США производится более 1400 наименований изделий из вторичных пластмасс, которые раньше производились только с использованием первичного сырья.

**Таким образом,** продукты вторичной переработки пластмасс могут использоваться для производства изделий, ранее производимых из первичных материалов. Например, возможно производство пластиковых бутылок из отходов, т. е. переработка по замкнутому циклу. Также вторичные полимеры пригодны для изготовления объектов, свойства которых могут быть хуже, чем у аналогов, изготовленных с использованием первичного сырья. Последнее решение носит название «каскадной» переработки отходов. Она с успехом применяется, например, компанией FIAT auto, которая перерабатывает бамперы отслуживших свой срок автомобилей в патрубки и коврики для новых машин.