

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Р. М. Долинская

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СИНТЕЗА И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ

Курсовое проектирование

*Рекомендовано
учебно-методическим объединением по химико-технологическому
образованию в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений высшего образования
по химико-технологическим специальностям*

Минск 2021

УДК 678.05(075.8)

ББК 35.71я73

Д64

Рецензенты:

кафедра химической технологии высокомолекулярных соединений учреждения образования «Могилевский государственный университет продовольствия» (заведующий кафедрой кандидат технических наук, доцент *Л. А. Щербина*); кандидат химических наук, доцент кафедры высокомолекулярных соединений Белорусского государственного университета *Д. А. Белов*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Долинская, Р. М.

Д64 Технология и оборудование синтеза и переработки полимеров. Курсовое проектирование : учеб.-метод. пособие для студентов химико-технол. специальностей / Р. М. Долинская. – Минск : БГТУ, 2021. – 107 с.

ISBN 978-985-530-912-4.

Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию предназначено для выработки у студентов навыков решения конкретных научных и практических задач в области их профессиональной деятельности с использованием материала дисциплины по курсу «Технология и оборудование синтеза и переработки полимеров».

Пособие также будет полезно студентам, обучающимся по специальностям «Экономика и управление на предприятии», «Маркетинг», «Менеджмент (по направлениям)».

УДК 678.05(075.8)

ББК 35.71я73

ISBN 978-985-530-912-4

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2021

© Долинская Р. М., 2021



ПРЕДИСЛОВИЕ

Курсовой проект по дисциплине «Технология и оборудование синтеза и переработки полимеров» выполняется студентами после изучения теоретического курса.

Изучение вышеназванной дисциплины осуществляется комплексно. В лекционном курсе рассматриваются основные теоретические положения, при выполнении лабораторных работ и на практических занятиях приобретаются некоторые практические навыки, необходимые будущему специалисту в процессе работы на предприятии. Для закрепления полученных теоретических и практических знаний по технологии синтеза и переработки полимерных материалов, а также по работе оборудования каждый студент самостоятельно выполняет курсовой проект по названной дисциплине.

Целью выполнения курсового проекта является выработка у студентов навыков решения конкретных научных и практических задач, необходимых для их профессиональной деятельности, с использованием материала соответствующей дисциплины учебного плана.

Основными задачами курсового проектирования являются:

- закрепление теоретических знаний, полученных ранее;
- выработка умения анализировать исходные данные, выбирать и обосновывать методы решения при выполнении профессиональных задач;
- формирование навыков самостоятельной работы и творческого подхода к решению производственных задач;
- выработка и закрепление навыков работы со специальной литературой и нормативными документами;
- приобретение практических навыков использования нормативных документов и современных технических средств при решении профессиональных задач и оформлении результатов.



ХАРАКТЕРИСТИКА И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ

Полимеры – это высокомолекулярные соединения, состоящие из длинных молекул с большим количеством одинаковых группировок атомов, соединенных химическими связями.

Пластмассы – материалы на основе органических синтетических или природных полимеров, из которых можно после нагрева и приложения давления формировать изделия сложной конфигурации. Кроме полимера в пластмассе могут быть различные *добавки*.

Эластомеры – это природные или синтетические высокомолекулярные соединения с высокоэластическими свойствами.

Макромолекулы эластомеров – скрученные в клубки цепи. Цепи могут вытягиваться под действием внешней силы, после ее снятия снова скручиваются (эластичность – способность восстанавливать форму).

Эластомерные композиции (резина) представляют собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из полимерной основы и различных химических добавок (ингредиентов). Для получения композиции применяют высокомолекулярные полимеры с низкой (ниже комнатной) температурой перехода из стеклообразного или твердого кристаллического состояния в высокоэластическое – эластомеры.

Эластомеры, которые могут быть переработаны в композицию, обычно называются каучуками. Кроме каучуков при изготовлении резиновых изделий применяются различные компоненты (ингредиенты), необходимые в процессах их переработки (повышают пластичность, поперечное сшивание и др.) и для придания резиновым изделиям определенных свойств.

По своему действию ингредиенты разделяются на вулканизирующие агенты, ускорители и активаторы вулканизации, наполнители, пластификаторы, противостарители и др.

Сырье и материалы составляют главную часть всех затрат при производстве резиновых изделий, причем высокая материалоемкость производства приводит к большим затратам на транспортирование сырья и хранение его на складах.

В зависимости от свойств и областей применения каучуков можно выделить следующие виды: каучуки общего назначения, которые используются в массовом производстве изделий (шины, резиновые технические изделия, обувь и др.), и каучуки специального назначения для изготовления резин с некоторыми специфическими свойствами (стойкостью к различным средам, газонепроницаемостью, морозостойкостью и др.).

Переработка пластмасс и эластомеров – это совокупность технологических процессов, обеспечивающих получение изделий – деталей с заданными конфигурацией, точностью и эксплуатационными свойствами.

Высокое качество изделия будет достигнуто, если выбранные материал и технологический процесс будут удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям изделия: электрической, механической прочности, химической стойкости, плотности, прозрачности и т. п.

При переработке пластмасс и эластомеров в условиях массового производства для обеспечения высокого качества изделий решают материаловедческие, технологические, научно-организационные и другие задачи.

Материаловедческие задачи состоят в правильном выборе типа и марки полимера таким образом, чтобы обеспечить возможность формования изделия с заданными конфигурацией и эксплуатационными свойствами.

Технологические задачи включают в себя всю совокупность вопросов технологии переработки полимеров, обеспечивающих качество изделия:

- подготовку полимеров к переработке,
- определение технологических параметров процесса,
- разработку оснастки,
- выбор оборудования.

Основные этапы работы по применению пластмасс и эластомеров в изделиях следующие:

- анализ условий работы изделия, разработка требований к эксплуатационным свойствам;
- подбор вида пластмассы и эластомера по заданным требованиям и эксплуатационным свойствам изделия;
- определение способа переработки пластмассы и эластомера в изделие и выбор необходимого оборудования;

– выбор базовой марки пластмассы и эластомера и на ее основе марки с улучшенными технологическими свойствами;

– конструирование, изготовление, испытание и отладка технологической оснастки и др.

Полимеры в твердом состоянии могут быть *аморфными* и *кристаллическими*.

При нагревании аморфного полимера наблюдаются три физических состояния: стеклообразное, высокоэластичное и вязкотекучее. Эти состояния устанавливаются на основании кривой термомеханического состояния. Аморфный полимер находится ниже температуры стеклования T_c в твердом агрегатном состоянии. При температуре выше T_c полимер находится в высокоэластичном состоянии; молекулярная подвижность при этом становится настолько большой, что структура в ближнем порядке успевает перестраиваться вслед за изменением температуры, а макромолекулы могут изгибаться под действием внешних сил. Общая деформация складывается в этом случае из упругой и запаздывающей высокоэластичной деформации. При упругой деформации изменяются средние межцентровые, межмолекулярные расстояния и валентные углы в полимерной цепи, при высокоэластичной деформации изменяется ориентация и перемещаются на значительные расстояния звенья гибких цепей.

Кристаллизующийся полимер в зависимости от скорости охлаждения расплава полимера может проявлять два вида структур: аморфную и кристаллическую. При медленном охлаждении кристаллизующихся полимеров совместная укладка отрезков макромолекул образует структуру макромолекул. Это затрудняет переход их из одной конформации в другую, из-за чего отсутствует гибкость макромолекул и высокоэластичное состояние. При быстром охлаждении кристаллические структуры не успевают полностью сформировываться, поэтому в переохлажденном полимере между ними имеется «замороженная» – аморфная структура. Такая структура при повторном нагреве до температуры выше температуры плавления $T_{пл}$ создает вязкотекучее состояние. Для структуры полимера характерны два состояния: *кристаллическое* (до температуры плавления) и *вязкотекучее* (выше температуры плавления).

Таким образом, с увеличением температуры до некоторой величины, у полимерного материала начинается процесс *термодеструкции* – разложения материала.

Свойства полимеров, определяющие качество в процессе переработки:

- реологические;
- вязкостные, определяющие процесс вязкого течения с развитием пластической деформации;
- высокоэластичные, определяющие процесс развития и накопления обратимой высокоэластичной деформации при формовании;
- релаксационные, определяющие релаксацию (уменьшение) касательных и нормальных напряжений, высокоэластичной деформации и ориентированных макромолекулярных цепей;
- стойкость к термоокислительной, гидролитической и механической деструкции в процессе формования под действием температуры, кислорода, влаги, механических напряжений;
- теплофизические, определяющие изменение объема, нагрев и охлаждение изделия в процессе формования и фиксирования формы и размеров;
- влажность, определяющая текучесть материала при формовании и качество изделия (вызывает гидролитическую деструкцию при формовании);
- объемные характеристики сыпучих материалов в твердом состоянии (насыпная масса, сыпучесть, гранулометрический состав).

Многие свойства полимерных материалов в изделиях зависят от *структуры*, которую формирует процесс переработки. В зависимости от полимера и условий переработки в изделиях возникает аморфная или кристаллическая структура.

Структура изделия с аморфным полимером характеризуется определенной степенью ориентации участков цепных макромолекул и расположением ориентированных областей по сечению изделия вдоль направления сдвига (течения) материала.

Показатели качества изделий из полимерных материалов зависят от свойств, условий подготовки, переработки и физической модификации материала. Внешний вид изделий зависит от условий переработки, чистоты материала, влажности.

Диэлектрические показатели и химическая стойкость зависят от химической структуры и модификации полимера.

Механические свойства – прочность, ударная стойкость, деформация, жесткость, теплостойкость – зависят от надмолекулярной структуры, а коэффициент трения и износостойкость, стойкость к горению зависят от химической структуры и модификации.

Эксплуатационные свойства – размерная точность и размерная стабильность – зависят как от химической структуры, молекулярных характеристик, технологических свойств, так и от технологии переработки и технологичности конструкции.

Термостабильность полимеров. Основным показателем в этом случае является *деструкция*. Деструкция полимеров – это изменение строения макромолекул. Деструкция может протекать под действием тепла, кислорода, химических агентов (в том числе воды), света, излучений высокой энергии, механических напряжений и т. п., как от отдельного, так и от совокупности параметров. Она сопровождается уменьшением молекулярной массы, выделением газообразных и низкомолекулярных продуктов, изменением окраски и появлением запаха.

Деструкция может сопровождаться не только разрушением макромолекул, но и сшиванием их (структурированием), что вызывает увеличение массы и вязкости расплава. Следствием этого является нарушение всех свойств материала, снижение стабильности свойств изделий.

При переработке полимеров может происходить как термоокислительная, так и механическая деструкция, а у гигроскопических материалов еще и гидролиз.

Классификация пластмасс. Признаками классификации пластмасс являются назначение, вид наполнителя, эксплуатационные свойства и др.

Классификация пластмасс по эксплуатационному назначению:

- по применению;
- по совокупности параметров эксплуатационных свойств;

По применению различают (достаточно условно) следующие виды пластмасс:

- для упаковки пищевых продуктов;
- для работы в соприкосновении с агрессивными средами;
- пластмассы для работы при действии кратковременной или длительной механической нагрузки;
- для работы при низких температурах (-40°C и даже -60°C);
- антифрикционного назначения;
- электро- и радиотехнического назначения;
- для получения прозрачных изделий;
- тепло- и звукоизоляционного назначения, газонаполненные материалы.

По совокупности параметров *эксплуатационных свойств* пластмассы делятся на две большие группы: общетехнического и инженерно-технического назначения.

Пластмассы общетехнического назначения имеют более низкие характеристики параметров эксплуатационных свойств, чем пластмассы инженерно-технического назначения.

Пластмассы инженерно-технического назначения сохраняют высокие значения механических свойств не только при нормальной и повышенной температурах, но могут работать и при кратковременных нагрузках, при повышенных температурах.

Этого не обеспечивают пластмассы общетехнического назначения. Они работают в ненагруженном или слабонагруженном состоянии при обычной и средних температурах (до 55°C).

Пластмассы инженерно-технического назначения делят на группы, обеспечивающие определенные свойства в некотором интервале; различают пять групп пластмасс по классификационному признаку.

По значению отдельных параметров эксплуатационных свойств составляют ряды пластмасс для различных параметров эксплуатационных свойств. Параметры классификации: механические свойства, свойства износа, линейного теплового расширения и другие.

В зависимости от применяемости наполнителя и степени его измельчения все материалы подразделяют на четыре группы:

- гранулированные;
- порошковые (пресс-порошки);
- волокнистые;
- слоистые.

Технологические свойства. Технологические свойства пластмасс влияют на выбор метода их переработки. К технологическим свойствам относят: текучесть, влажность, время отверждения, дисперсность, усадку, таблетруемость, объемные характеристики.

Текучесть характеризует способность к вязкому течению полимера, выдавливаемого в течение 10 мин через стандартное сопло под давлением определенного груза при заданной температуре.

Так, для литья под давлением используют материалы и режимы переработки, при которых текучесть расплава находится в пределах от 2 до 20 г за 10 мин, для выдувного литья в форму – от 1,5 до 7 г за 10 мин, для экструзии труб и профилей – от 0,3 до 1 г за 10 мин, для экструзии пленок – от 1 до 4 г за 10 мин, для ламинатов – от 7 до 12 г за 10 мин.

Текучесть реактопласта определяется по длине стержня в миллиметрах, отпрессованного в подогреваемой пресс-форме с каналом уменьшающегося поперечного сечения. Этот показатель текучести хотя и является относительной величиной, позволяет предварительно установить метод переработки: при текучести по Рашигу от 90 до 180 мм применяют литьевое прессование, при текучести от 30 до 150 мм – прямое прессование.

Усадка характеризует изменение размеров при формовании изделия и термообработке. Усадка изделий из реактопластов зависит от способа формования изделия и вида реакции сшивания: полимеризации или поликонденсации. Причем последняя сопровождается выделением побочного продукта – воды, которая под действием высокой температуры испаряется. Процесс усадки протекает во времени; чем больше время выдержки, тем полнее протекает химическая реакция, а усадка изделия после извлечения из формы меньше. Однако после некоторого времени выдержки усадка при дальнейшем его увеличении остается постоянной. Влияние температуры на усадку: усадка увеличивается прямо пропорционально увеличению температуры.

Усадка изделий из термопластов после формования связана с уменьшением плотности при понижении температуры до температуры эксплуатации. Усадка полимера в различных направлениях по отношению к направлению течения для термо- и реактопластов различна, т. е. полимеры имеют анизотропию усадки. Усадка термопластов больше усадки реактопластов.

Содержание влаги в пресс-материалах и полимерах увеличивается при хранении их в открытой таре из-за гигроскопичности материала или при конденсации влаги на поверхности. *Содержание летучих веществ* в полимерах зависит от содержания в них остаточного мономера и низкокипящих пластификаторов, которые при переработке могут переходить в газообразное состояние. Оптимальное содержание влаги: у реактопластов от 2,5 до 3,5%, у термопластов – сотые и тысячные доли процента.

Гранулометрический состав оценивают размерами частиц и однородностью. Этот показатель определяет производительность при подаче материала из бункера в зоны нагрева и равномерность нагрева материала при формовании, что предупреждает вздутия и неровности поверхности изделия.

Объемные характеристики материала: насыпная плотность, удельный объем, коэффициент уплотнения (*удельный объем* – величина, определяемая отношением объема материала к его массе; *насыпная плотность* – величина обратная удельному объему). Эти показатели определяют величину загрузочной камеры пресс-формы, бункера и некоторые размеры оборудования, а при переработке пресс-порошков из-за их плохой теплопроводности объемные показатели оказывают влияние на производительность оборудования.

Таблетуруемость – это возможность спрессовывания пресс-материала под действием внешних сил и сохранения полученной формы после снятия этих сил.

Марочный ассортимент полимеров. Марочный ассортимент полимеров создан с целью быстрого выбора вида и марки полимера для изготовления высококачественных изделий. Марочный ассортимент включает марки, различающиеся по вязкости и эксплуатационным свойствам.

На основе базового ассортимента марок по технологическим свойствам создают путем химической или физической модификации марки с улучшенными свойствами. Эти марки разрабатывают с такими свойствами, чтобы при рекомендуемых режимах получать качественные изделия по всем параметрам (точности, прочности, внешнему виду и др.). В настоящее время полимерные материалы выпускают в ассортименте, поэтому для каждого изделия и способа формования можно подобрать соответствующую базовую марку полимера и, если необходимо, марку с улучшенными технологическими свойствами. Базовые марки с целью изготовления качественных изделий разделяют на группы:

– в зависимости от вязкости полимера и толщины S стенки изделия;

– в зависимости от относительной длины изделия L / S (L – длина).

Все множество марок пластмасс содержит около 10 000 наименований.

Выбор пластмасс. Основными признаками выбора пластмасс являются эксплуатационные и технологические свойства. Для ускорения процесса выбора материала используют специальные таблицы, в каждой из которых приведены марки материалов в порядке снижения среднего значения представляемого эксплуатационного свойства.

Порядок и алгоритм выбора пластмасс. Пластмассы выбирают исходя из требований к эксплуатационным свойствам и геометрическим параметрам изделия. Поэтому сначала выбирают вид пластмассы на основе требований к ее эксплуатационным свойствам, а затем базовую марку и марку с улучшенными технологическими свойствами, которую можно эффективно переработать выбранным способом.

Существует два метода выбора вида пластмасс.

Метод аналогий применяют при невозможности точного задания параметров эксплуатационных свойств пластмассы. В этом случае для выбора используют характерные параметры эксплуатационных свойств, назначение, достоинства, ограничения, рекомендации по применению и способам переработки; также для выбора могут быть использованы рекомендации по применению пластмасс в других типах изделий, работающих в аналогичных условиях.

Порядок выбора пластмасс *количественным методом* по комплексу заданных значений эксплуатационных свойств сводится к следующему:

- выявление условий эксплуатации изделия и соответствующих им значений параметров эксплуатационных свойств пластмасс при основных условиях работы изделия;
- подбор пластмассы с требуемыми параметрами эксплуатационных свойств;
- проверка выбранной пластмассы по другим параметрам, не вошедшим в основные.

Высокомолекулярные соединения по свойствам и применению подразделяются на пластмассы, эластомеры и волокна.

Пластмассы делятся на термопластичные и термореактивные.

Термопластичные пластмассы – это линейные полимеры, в которых отсутствуют прочные связи между отдельными цепями, они легко плавятся, способны к повторной переработке. Термопластичные материалы, или термопласты, при нагревании размягчаются, а при охлаждении затвердевают. Этот процесс является обратимым. Полимеры при этом не претерпевают никаких химических изменений. Способность к формованию сохраняется у них и при повторных переработках в изделия.

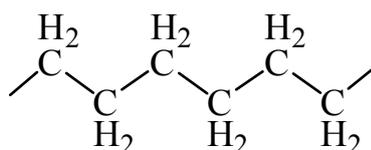
Термореактивные пластмассы – это сетчатые полимеры, в которых существуют прочные связи между отдельными цепями, они

с трудом плавятся, не способны к повторной переработке. Термоактивные материалы, или реактопласты, при нагревании структурируются и превращаются в твердые неплавкие и нерастворимые продукты, не способные к повторному формованию. Этот процесс является необратимым, при нагревании идет химический процесс, процесс сшивки молекул.

Большое промышленное значение имеет производство полиолефинов (полиэтилена и полипропилена).

Полиэтилен $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$ представляет собой карбоцепной полимер алифатического алкена – этилена. Макромолекулы полиэтилена имеют линейное строение с небольшим числом боковых ответвлений. Молекулярная масса его в зависимости от способа полимеризации, колеблется от десятков тысяч до нескольких миллионов.

Полиэтилен – кристаллический полимер. При комнатной температуре степень кристалличности полимера достигает 50–90% (в зависимости от способа получения):



Полиэтилен отличается от других термопластов ценным комплексом свойств. Изделия из полиэтилена имеют высокие прочность, стойкость к действию агрессивных сред и радиации, нетоксичность, хорошие диэлектрические свойства. Перерабатывается полиэтилен всеми известными для термопластов методами.

Благодаря доступности сырья, сочетанию ценных свойств со сравнительно низкими затратами на его получение полиэтилен по объему производства занимает среди пластмасс первое место.

Полиэтилен получают радикальной полимеризацией этилена при высоком давлении и ионной полимеризацией при низком или среднем давлении. Он представляет собой термопластичный полимер плотностью 910–970 кг/м³ и температурой размягчения 110–130°C. Выпускаемый в промышленности разными методами полиэтилен различается по плотности, молекулярной массе и степени кристалличности.

В зависимости от свойств и назначения выпускается полиэтилен различных марок, отличающихся плотностью, показателем текучести расплава, наличием или отсутствием стабилизаторов. При длительном действии статических нагрузок полиэтилен деформируется.

Предел длительной прочности для полиэтилена низкой плотности равен 2,45 МПа, для полиэтилена высокой плотности – 4,9 МПа.

Готовые изделия из полиэтилена, находящиеся длительное время в напряженном состоянии, могут растрескиваться. С увеличением молекулярной массы, уменьшением степени кристалличности и полидисперсности стойкость к растрескиванию полиэтилена возрастает. Повышение плотности полиэтилена влечет увеличение его температуры плавления. Изделия из полиэтилена низкой плотности могут эксплуатироваться при температурах до 60°C, из полиэтилена высокой плотности – до 100°C. Полиэтилен становится хрупким только при –70°C, поэтому изделия из него могут эксплуатироваться в суровых климатических условиях.

Полиэтилен обладает высокой водостойкостью. Водопоглощение полиэтилена низкой плотности за 30 суток при 20°C составляет 0,04%, полиэтилена высокой плотности 0,01–0,04%. Полиэтилен обладает хорошими диэлектрическими свойствами. Он не растворяется при комнатной температуре в органических растворителях. При температуре выше 70°C набухает и растворяется в хлорированных и ароматических углеводородах.

Полиэтилен стоек к действию концентрированных кислот, щелочей и водных растворов солей. Концентрированная серная и соляная кислоты практически не действуют на него. Азотная кислота и другие сильные окислители разрушают полиэтилен. Для увеличения стойкости к термоокислительным процессам и атмосферным воздействиям в полимер вводят различные стабилизаторы.

Полиэтилен перерабатывается всеми методами, применяемыми для переработки термопластов: литьем под давлением, экструзией и прессованием. Около половины всего выпускаемого полиэтилена высокого давления расходуется на производство пленки, используемой в сельском хозяйстве и для упаковки продуктов. Из полиэтилена изготавливают главным образом предметы домашнего обихода, игрушки, конструкционные детали, трубы. Он используется в качестве электроизоляционного материала в радиотехнике и телевидении, кабельной промышленности, строительстве, в качестве антикоррозионных покрытий, для пропитки тканей, бумаги, древесины и т. д.

Полиэтилен всех марок является физиологически безвредным, поэтому он широко применяется в медицине, жилищном строительстве, а также для получения различных бытовых изделий и товаров народного потребления.

Полипропилен $\left[\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$ в промышленности получа-

ют в присутствии каталитической системы типа Циглера – Натта $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}/\text{TiCl}_3$ в среде экстракционного бензина и легкого растворителя – пропан-пропиленовой фракции или в массе мономера, а также в присутствии высокоактивной каталитической системы $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$, TiCl_3 и основания Льюиса в среде *n*-гептана. Полимеризацию пропилена осуществляют в суспензии и растворе, в массе и в газовой фазе. Получаемый полипропилен представляет собой в основном кристаллический полимер стереорегулярного строения. Ценные физико-механические свойства полипропилена обусловлены высоким содержанием кристаллической фазы, поэтому каталитические системы, применяемые для его получения, должны обладать высокой стереоспецифичностью.

Исходным сырьем для производства полипропилена является пропилен. Пропилен выделяют из пропан-пропиленовой фракции, получаемой при крекинге и пиролизе нефтяных углеводородов. Выделенная пропиленовая фракция, содержащая около 80% пропилен, подвергается дополнительной ректификации; в результате получают пропилен 98–99%-ной концентрации.

Полимеризация пропилена в присутствии катализаторов Циглера – Натта протекает по ионно-координационному механизму. Полипропилен, выпускаемый в промышленности, представляет собой смесь различных структур, соотношение которых зависит от условий проведения процесса. Наибольший практический интерес представляет полипропилен с молекулярной массой 80 000–200 000. Полимеризацию пропилена проводят в присутствии каталитического комплекса $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}/\text{TiCl}_3$ и других катализаторов.

Изотактический полипропилен представляет собой твердый термопластичный полимер с температурой плавления 165–170°C и плотностью 900–910 кг/м³. Полипропилен имеет более высокую теплостойкость, чем полиэтилены низкой и высокой плотности. Он обладает хорошими диэлектрическими показателями, которые сохраняются в широком интервале температур. Благодаря чрезвычайно малому водопоглощению его диэлектрические свойства не изменяются при выдерживании во влажной среде.

Полипропилен нерастворим в органических растворителях при комнатной температуре; при нагревании до 80°C и выше он

растворяется в аренах (бензоле, толуоле), а также хлорированных углеводородах. Полипропилен устойчив к действию кислот и оснований даже при повышенных температурах, а также к водным растворам солей при температурах выше 100°C , к минеральным и растительным маслам. Старение стереорегулярного полипропилена протекает аналогично старению полиэтилена. Полипропилен меньше, чем полиэтилен, подвержен растрескиванию под воздействием агрессивных сред. Одним из существенных его недостатков является невысокая морозостойкость (-30°C). В этом отношении полипропилен уступает полиэтилену. Полипропилен перерабатывается всеми применяемыми для термопластов способами.

Модификация полипропилена полиизобутиленом (5–10%) улучшает перерабатываемость материала, повышает его гибкость, стойкость к растрескиванию под напряжением и снижает хрупкость при низких температурах. Пленки из полипропилена обладают высокой прозрачностью; они теплостойки, механически прочны и имеют малую газо- и паропроницаемость. Полипропиленовое волокно прочно; оно пригодно для изготовления технических тканей, канатов. Полипропилен применяется для производства пористых материалов – пенопластов.

Применение полистирола. Наиболее часто полистирол используют для изготовления канцтоваров, игрушек; контейнеров, упаковки и посуды для пищевой промышленности; корпусов техники; упаковки для косметики; элементов оборудования санитарно-технического назначения, торгового и выставочного оборудования; объемных изделий в дизайне и наружной рекламе; отделочных материалов в строительстве. Ударопрочный полистирол и его модификации получили широкое применение в сфере бытовой техники и электроники (корпусные элементы бытовых приборов). Из него изготавливают мебельные ящики, детали детской мебели, сиденья табуреток. Из АБС-пластика производят опоры мебели, фурнитуру, мебельные изделия больших размеров (в частности, для кухни и медицинских учреждений). Большое количество полистирола идет на производство пенополистирола.

Фенопластами называют разнообразные пластические массы, получаемые на основе фенолоальдегидных олигомеров. Наибольшее практическое значение имеют прессовочные материалы на основе фенолоформальдегидных олигомеров. В зависимости от применяемого наполнителя и степени его измельчения все пресс-материалы можно разделить на три типа: с порошкообразным наполнителем

(пресс-порошки), волокнистым наполнителем (волокниты, фаолиты, асбомассы и др.) и листовым наполнителем (слоистые пластики).

Аминоальдегидные полимеры представляют собой отвержденные продукты поликонденсации карбамида, меламина и их аналогов с формальдегидом. К этой же группе относятся продукты конденсации анилина с формальдегидом. Начальными продуктами конденсации исходных мономеров являются оксиметильные соединения вида $RNHCH_2OH$. На стадии синтеза получают олигомерные водорастворимые продукты со средней молекулярной массой около 1000. В чистом виде аминоальдегидные полимеры используются весьма ограниченно, поскольку их отверждение сопровождается выделением большого количества летучих продуктов, изменением объема, возникновением больших внутренних напряжений в изделиях, приводящих к их растрескиванию в процессе эксплуатации. Поэтому, как правило, эти олигомеры используют для приготовления различных композиций. Олигомерные продукты конденсации аминов с альдегидами находят широкое применение в качестве связующих для производства древесностружечных плит, фанеры, слоистых пластиков, пресс-порошков, клеев и лаков. Изделия, полученные с их использованием, имеют достаточно высокую механическую прочность, теплоустойчивость, хорошую адгезию (особенно к древесине); они бесцветны, прозрачны, способны окрашиваться в различные цвета. Материалы, изготовленные на основе меламиноформальдегидных олигомеров, кроме того, обладают высокой дугостойкостью и водостойкостью.

Низкая стоимость исходного сырья, его доступность, особенно карбамида, простота технологического процесса получения олигомеров и переработки их в изделия обуславливают относительно быстрый рост объема производства этих полимеров, хотя их доля в общем объеме производства пластмасс неуклонно снижается.

Эластомеры – это природные или синтетические высокомолекулярные соединения с высокоэластическими свойствами.

Макромолекулы эластомеров – скрученные в клубки цепи. Цепи могут вытягиваться под действием внешней силы, после ее снятия снова скручиваются (эластичность – способность восстанавливать форму).

Эластомерные композиции (резина) представляют собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из полимерной основы и различных химических добавок (ингредиентов).

В качестве полимерной основы используют каучуки общего и специального назначения.

Изопреновый каучук СКИ-3 – продукт каталитической полимеризации изопрена в растворе 1,4-дисполимер изопрена. СКИ-3 близок по структуре, ряду технологических и физических свойств к натуральному каучуку, но характеризуется более низкой когезионной прочностью и клейкостью резиновых смесей на его основе. В то же время смеси из СКИ-3 имеют более высокую текучесть, что облегчает их переработку формованием и литьем под давлением. По эластическим свойствам СКИ-3 превосходит большую часть известных ныне СК и практически равноценен НК. Изопреновые каучуки применяются в производстве конвейерных лент, формовых изделий, губчатых медицинских и других изделий.

Бутадиеновый каучук стереорегулярный (СКД) получают полимеризацией бутадиена-1,3 (дивинила) в растворе в присутствии комплексного металлоорганического катализатора. Резиновые смеси на основе СКД плохо перерабатываются экструзией и каландрованием. Для улучшения этих свойств к СКД добавляют НК и СКИ-3. Наиболее часто используют СКД и СКИ-3 в соотношениях 30 : 70, 40 : 60 и 50 : 50. Маслонаполненный СКД обладает лучшими пластозластическими свойствами, а вулканизаты на его основе – комплексом улучшенных физико-механических свойств. Смеси на основе СКД характеризуются низкой клейкостью. СКД уступает НК по прочности вулканизатов.

Натрийбутадиеновые каучуки (СКБ), получаемые при полимеризации бутадиена в массе в присутствии металлического натрия, в последние годы утратили свое значение. Их заменяют бутадиенстирольными и другими каучуками. СКБ еще используют для изготовления пористых и эбонитовых изделий, диэлектрических резин (СКБЗЗ-40РД), резиновых изделий, соприкасающихся с пищевыми продуктами (СКБ-40РЦ), технических пластин и трубок различного назначения и т. п. С целью замены СКБ в последние годы организовано производство нового 1,2-бутадиенового каучука марки СКБ-СР.

Бутадиенстирольные (СКС) и бутадиенметилстирольные (СКМС) каучуки эмульсионной полимеризации вырабатывают в широком ассортименте и большом объеме. Это объясняется сравнительно простой технологией, относительной доступностью исходных мономеров (бутадиена и стирола) и высокими физико-механическими свойствами этих каучуков. Шире стали применять СКС и СКМС – маслонаполненные каучуки, не требующие термопластикации. Резины на основе бутадиенстирольных и бутадиенметилстирольных

каучуков имеют высокое сопротивление истиранию ($60\text{--}69 \text{ нм}^3/\text{Дж}$ в стандартных смесях). По этому показателю из каучуков общего назначения они уступают только СКД. СКС и СКМС широко применяются в производстве конвейерных лент для обкладочных резин, различных РТИ. Выпускаются специальные марки морозостойких каучуков с пониженным содержанием стирола или метилстирола: СКС-10, СКМС-10 и СКС-10-1. Проводятся работы по созданию бутадиенстирольных каучуков с улучшенными свойствами. Промышленный интерес представляет ДССК, получаемый полимеризацией в растворе. В производстве формовых изделий (игрушек, пластин, прокладок, спортивных товаров и т. д.) испытывают бутадиенстирольные термоэластопласты, которые при низких температурах обладают свойствами каучуков, а при высоких температурах – свойствами термопластов.

Бутадиеннитрильный каучук (СКН) – основной тип маслостойкого каучука, широко применяемого при изготовлении очень большого ассортимента РТИ. Промышленность РТИ использует следующие типы каучуков: СКН-18, СКН-18М, СКН-26, СКН-26М, СКН-40М, СКН-40Т, СКН-18РВДМ, СКН-26РВДМ. В настоящее время разработаны новые типы бутадиеннитрильных каучуков. Использование новых типов бутадиеннитрильных каучуков обеспечивает возможность изготовления РТИ с новыми ценными техническими свойствами, а в ряде случаев достигается значительное улучшение технологических свойств смесей.

Хлоропреновый каучук – наирит – это продукт эмульсионной полимеризации хлоропрена. Наличие атомов хлора (около 40% по массе) придает каучуку ряд особых свойств (масло-, бензо-, озоностойкость, негорючесть, повышенную теплостойкость), определяющих специфику его применения. Это единственный диеновый полимер, основная часть молекулярных звеньев которого находится в 1,4-транс конфигурации. Высокая регулярность молекулярных звеньев в сочетании с их гибкостью сообщает каучуку способность кристаллизоваться при растяжении. Это обеспечивает его вулканизатам высокую прочность. Хлоропреновый каучук способен кристаллизоваться и при хранении (максимальная скорость кристаллизации при температурах от -5 до $+5^\circ\text{C}$), что снижает морозостойкость вулканизатов на его основе. Выпускаемые хлоропреновые каучуки могут быть разделены на две основные группы: модифицированные серой и модифицированные меркаптанами.

К первой группе относятся наирит СР-50, наирит СР-100, наирит КР-50, которые содержат серу в молекулярной цепи, менее регулярны и имеют сравнительно невысокую скорость кристаллизации.

Ко второй группе относятся наирит П, наирит НП, наирит ПНК, наирит НЕ. Они не содержат серы в молекулярной цепи, более регулярны и кристаллизуются с большей скоростью. Высокая гибкость молекулярных цепей хлоропреновых каучуков в сочетании с теплостойкостью сообщает вулканизатам на их основе отличные динамические свойства. Наириты применяются в производстве клиновых ремней, формовой и неформовой техники, рукавов, лент и других РТИ. Резины на основе наирита с успехом используют для обкладки химической аппаратуры, подвергающейся действию щелочей, растворов солей и других агрессивных сред. Промышленно выпускаются и жидкие наириты – сополимеры хлоропрена со стиролом, акрилонитрилом и 1,3-дихлорбутадиеном, которые используют для антикоррозионных и защитных покрытий. Освоено производство наиритов новых марок – ДФ, ДКР, ДН и др.

Бутилкаучук (БК) получают из изобутилена с 0,6–3,0% изопрена низкотемпературной каталитической сополимеризацией. В зависимости от насыщенности и относительной молекулярной массы отечественной промышленностью выпускаются бутилкаучуки марок БК-1030Т, БК-1040Т, БК-1050Т, БК-1645Т, Б-2045Т, Б-2045Н и др. Основным физическим свойством БК является необычно высокая газо- и влагопроницаемость. Бутилкаучук широко применяют как каучук общего и специального назначения. В производстве РТИ из БК изготавливают паропроводные рукава, конвейерные ленты и резиновые технические детали, от которых требуется повышенная тепло-, паро-, озono- и химическая стойкость. БК применяют для изготовления электроизоляционных резин, различных прорезиненных тканей и обкладки химической аппаратуры. Резины из БК используются в деталях доильных аппаратов и в пищевой промышленности.

Этиленпропиленовые каучуки обладают комплексом ценных свойств (тепло-, свето- и озоностойкостью), позволяющих использовать их в производстве резин как общего, так и специального назначения, и являются одними из наиболее перспективных. Промышленность выпускает в основном тройные сополимеры – этиленпропилендиеновые каучуки (СКЭПТ) с небольшой молярной долей (0,9–2,0%) диенов: СКЭПТ-30, СКЭПТ-40, СКЭПТ-50, СКЭПТ-60, СКЭПТ-30д и др. (цифра указывает вязкость по Муни). Области

применения тройного сополимера, как и двойного, разнообразны. Он используется для производства формовых и неформовых изделий, рукавов, конвейерных лент, прорезиненных тканей, прокладок, губчатых изделий, изоляции, герметиков для гидравлических систем.

Хлорсульфированный полиэтилен (ХСПЭ) (за рубежом его выпускают под названием хайпалон) получают из полиэтилена, растворенного в тетрахлориде углерода или другом растворителе, путем обработки смесью хлора и диоксида серы или сульфурилхлоридом в присутствии катализатора. Характерно, что свойства вулканизатов ХСПЭ практически не зависят от присутствия активных наполнителей, таких как технический углерод, аэросил. Прочность при растяжении ненаполненных вулканизатов составляет обычно 24,5–28,0 МПа. В этом отношении он близок к наириту и натуральным каучукам. Однако по ряду показателей ХСПЭ превосходит наириты. Его вулканизаты обладают отличной озоностойкостью, высоким сопротивлением износу и стойкостью к атмосферным воздействиям, низким водопоглощением, хорошими диэлектрическими показателями, высокой химической стойкостью и маслостойкостью. К недостаткам относятся сравнительно высокое теплообразование, значительные остаточные деформации и газовыделение при нагревании. ХСПЭ используют для обкладки конвейерных лент, транспортирующих нагретые материалы. Рекомендуется применять его в производстве рукавов, ремней, теплостойких уплотнителей, прокладок, губчатых изделий, специальных видов прорезиненных тканей. Перспективно применение растворов из ХСПЭ для нанесения покрытий на ткани, металлы, дерево.

Акрилатные (акриловые) каучуки (за рубежом выпускают акрилатные каучуки под торговыми названиями тиакрил, цианакрил, хаякар (США)) получают полимеризацией акриловых эфиров или сополимеризацией акриловых эфиров с другими мономерами. Промышленность выпускает акрилатный каучук БАК – продукт сополимеризации бутилакрилата с акрилонитрилом в соотношении 88 : 12 соответственно. Отличительные свойства акриловых каучуков – это их высокая тепло- и маслостойкость. По теплостойкости они уступают только силоксановым и фторкаучукам. Рекомендуется применять акрилатные каучуки для различных тепло- и маслостойких уплотнительных изделий (например, сальников, колец, прокладок), рукавов, диафрагм, защитных покрытий, гуммирования аппаратуры, липких лент и т. д.

Уретановые каучуки (СКУ) получают взаимодействием диизоцианатов с простыми или сложными эфирами. Уретановые каучуки можно разделить на две группы: на основе простых эфиров и на основе сложных эфиров. СКУ на основе простых эфиров известны под марками СКУ-ПФ, СКУ-ПФЛ; на основе сложных эфиров – СКУ-8, СКУ-7, СКУ-8П, СКУ-7Л, СКУ-7П. Общей особенностью СКУ является исключительно высокое сопротивление истиранию. По этому показателю они значительно превосходят не только все типы каучуков общего и специального назначения, но и многие металлы. Наряду с этим СКУ отличаются хорошей эластичностью. Основная область применения СКУ в производстве РТИ – изготовление изделий, работающих в условиях истирания: различных формовых изделий, печатных валиков, обкладок трубопроводов и спускных желобов, по которым транспортируются абразивные материалы, и т. д.

Силоксановые каучуки относятся к классу кремнийорганических полимеров. Они отличаются от других каучуков характером основной цепи, которая состоит из чередующихся атомов кремния и кислорода. В настоящее время промышленность выпускает каучуки СКТ, СКТВ, СКТВ-1 и СКТН, а на опытно-производственных установках – СКТВФ, СКТФТ, СКТЭ и др. Области применения силоксановых резин довольно многообразны. Их используют как эластичные материалы специального назначения в различных отраслях промышленности, многих областях техники и в народном хозяйстве. Силоксановые резины применяют для изготовления уплотнителей, мембран, профильных деталей для герметизации дверей и окон, кабин самолетов, а также гибких соединений, выдерживающих очень низкие температуры в высоких слоях атмосферы, значительные концентрации озона и солнечной радиации. Высокая теплостойкость резин из силоксанового каучука позволяет применять их также для изготовления резинометаллических виброизоляторов (амортизаторов), антивибраторов воздухопроводов, оболочек свечей зажигания, уплотнителей прожекторов и т. п. Следует сказать также об оснащении силоксановыми резинами промышленных печей и различных аппаратов, работающих при высоких температурах (башен для крекинга нефтепродуктов, газопроводов, рекуперационных установок и т. д.). Из резин на основе силоксанового каучука изготавливают теплостойкие рукава. Это далеко не полный перечень областей применения резин из силоксановых каучуков. Благодаря ценным свойствам этих каучуков области применения их значительно расширяются, несмотря на

то, что они дороже резин из обычных товарных синтетических каучуков. Причиной этого является возможность применения силоксановых резин в малоисследованных, но весьма важных областях техники. Кроме того, повышенная стоимость таких резин окупается длительной работоспособностью их по сравнению с обычными резинами.

Фторкаучуки (СКФ) – сополимеры на основе фторолеинов. Атом фтора, входящий в состав молекулы полимера, придает ему особо высокую термо- и химическую стойкость. Наиболее широкое промышленное применение нашли две марки фторкаучуков: СКФ-26 и СКФ-32, выпускается фторкаучук СКФ-26НМ для изготовления термомаслобензостойких герметиков. Высокая теплостойкость фторкаучуков в сочетании с достаточно хорошей механической прочностью, сопротивлением действию агрессивных сред (масел), органических жидкостей, сильных окислителей определяет их применение в производстве различных РТИ. Из фторкаучуков изготавливают уплотнительные и герметизирующие детали, предназначенные для работы в маслах и топливах при 200°С и выше. Фторкаучуки нашли применение и в производстве рукавов, шлангов и трубок для горючих агрессивных жидкостей и газов, изоляции проводов и кабелей, эксплуатируемых в условиях высоких температур. Листовые материалы из фторкаучуков можно эксплуатировать при температурах от – 43 до +200°С и кратковременно до 315°С. Из фторкаучуков изготавливают губчатый материал, характеризующийся высокой стойкостью к агрессивным жидкостям и электрической прочностью в широком интервале температур. В большом объеме используют также герметики из фторкаучуков. Области и масштабы применения фторкаучуков увеличиваются из года в год.

Полисульфидные каучуки (тиоколы) – единственный вид каучуков, полимерная цепь которых содержит значительное количество атомов серы (от 20 до 85%). Тиоколы выпускают жидкими (Т-50) и твердыми (ДА). Применяют тиокол ДА для изготовления масло- и бензостойких резиновых изделий, а также уплотнительных материалов (паст, замазок и др.). Кроме того, его используют в качестве компонента для повышения маслостойкости резиновых смесей на основе СКН. Жидкие тиоколы Т-50, НВТ, НВБ-1, НВБ-2 представляют собой подвижную жидкость медообразной консистенции темно-янтарного цвета. В невулканизованном виде жидкие тиоколы хорошо растворимы в ароматических и хлорированных углеводородах, ограниченно растворимы в ацетоне и нерастворимы в спиртах и эфирах.

Они вулканизируются при комнатной температуре неорганическими пероксидами. Их применяют для изготовления маслобензостойких герметизирующих паст и замазок. Твердые тиоколы получают поликонденсацией дихлордиэтилового эфира с полисульфидом натрия в виде водных дисперсий. Водные дисперсии тиоколов можно применять для получения антикоррозионных покрытий металлов. Такие дисперсии наносят на поверхность кистью или пульверизатором. После высыхания образуются пленки с хорошей бензо- и маслостойкостью, влаго- и газонепроницаемостью. Водные дисперсии тиоколов используют для герметизации железобетонных резервуаров.

Термоэластопласты (ТЭП) – это материал, сочетающий свойства вулканизованных каучуков при нормальной и низкой температурах со свойствами термопластов при 120–200°C. ТЭП могут перерабатываться как пластмассы на стандартном оборудовании методами формования, экструзии, литья под давлением с малыми технологическими потерями. При этом благодаря отсутствию необходимости в вулканизации создается возможность многократной повторной переработки отходов при изготовлении изделий. По структуре ТЭП – блоксополимеры, состоящие из гибких и жестких блоков. Природа блоков, их количество, соотношение, порядок соединения, молекулярная масса и характер взаимодействия между молекулами определяют свойства ТЭП. ТЭП могут применяться как самостоятельно, так и с добавками наполнителей, пластификаторов и других ингредиентов, вводимых для улучшения технических свойств и удешевления изделия.

Промышленностью выпускаются термоэластопласты: ДМСТ-30 (дивинил-1-метилстирольный); ДСТ-30 (дивинилстирольный), ИСТ-30 (изопренстирольный). В настоящее время синтезированы маслобензостойкие и теплостойкие термоэластопласты – сантопрены. В производстве РТИ термоэластопласты могут заменить каучуки общего назначения – например, в производстве прорезиненных тканей, формовых изделий, рукавов.

ТЭП были опробованы в качестве добавок к СКИ-3 с целью получения конфекционных клеев. Клей на основе СКИ-3 и ИСТ-30 по свойствам равноценен клею из НК. Разработан большой ассортимент новых различных типов ТЭП, которые характеризуются высокой озоно-, масло- и бензостойкостью, диэлектрическими показателями, достаточной морозостойкостью, хорошими физико-механическими показателями, особенно тепло- и температуростойкостью. Применение термоэластопластов в производстве РТИ очень перспективно.



КОМПОНЕНТЫ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ

Полимерные материалы представляют собой многокомпонентные смеси, основой которых является полимер или смесь полимеров. Полимер связывает в единое целое другие компоненты системы и придает материалу определенные свойства. Таким образом, полимерное вещество является связующим. Кроме полимера, в состав композиций входят наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, красители, смазывающие вещества, отвердители и др. Введение этих добавок способствует улучшению эксплуатационных свойств, а также облегчает перерабатываемость полимерных материалов в изделия. Добавки вводятся практически во все полимеры. К ним предъявляются определенные требования:

- они должны хорошо диспергироваться в полимере с образованием достаточно однородных композиций;
- иметь стабильные свойства при хранении, переработке и эксплуатации пластмассы;
- быть нетоксичными, иметь достаточно низкую стоимость.

Таким образом, пластмассы представляют собой сложные композиции различных веществ, важнейшим из которых является полимер.

2.1. Наполнители

Развитие промышленности требует создания новых полимерных материалов с заданным сочетанием свойств, в первую очередь с повышенной прочностью, жесткостью, теплопроводностью, тепло- и термостойкостью, с незначительным тепловым расширением и низкой стоимостью.

Требуемые сочетания свойств достигаются созданием наполненных полимерных материалов (композиционных материалов). Наполнение позволяет значительно уменьшить объем используемых полимеров и улучшить свойства материалов на их основе.

Наполнители – дисперсные твердые, жидкие или газообразные материалы, вводимые в состав пластмасс, резины, ЛКМ для улучшения

их характеристик, придания специальных свойств и снижения стоимости. Например, глиноземы, благодаря своим хорошим диэлектрическим свойствам часто применяют для изоляционных материалов, а асбест из-за теплоизоляции – для полов (виниласбестовые плитки).

Существуют самые разные наполнители, которые отличаются размерами и формой частиц, способом производства и поверхностной обработки.

Наполнители различают:

- по происхождению (природные и синтетические);
- составу (органические и неорганические);
- действию на механические свойства (активные и неактивные).

Активные (усиливающие) наполнители улучшают эксплуатационные свойства материалов и условия их переработки. К активным наполнителям относят сажи (углеродные), смолы, лигнин, аморфный диоксид кремния и некоторые сорта силикатов кальция, алюминия, циркония, оксиды железа, алюминия, титана и др. Такие наполнители характеризуются высокой дисперсностью, способностью хорошо диспергироваться в полимерах, высокой адсорбционной активностью по отношению к полимерам, в отдельных случаях – способностью катализировать вулканизацию, а иногда и окисление резины.

Неактивные (инертные) наполнители вводятся для снижения удельного расхода материала, они не влияют на эксплуатационные свойства изделия. К неактивным наполнителям относят природный мел, каолин, тальк, слюду, асбест и др.

Армирующие наполнители – волокнистые активные наполнители, вводимые для повышения механической прочности материалов. Наполнители удешевляют композицию, но при этом уменьшают прочность при растяжении, эластичность, стойкость к истиранию. Наполнители с частицами больше 3 мкм вызывают износ перерабатываемого оборудования. В странах СНГ и Западной Европы в качестве наполнителя используется мел природный в количестве до 2%, в Италии применяются наполнители на основе диоксида кремния с частицами небольших размеров в количестве 0,5–3,0%.

Наиболее распространенные наполнители для полимерных материалов – высокодисперсные твердые продукты, например технический углерод (сажа), оксид кремния, графит, мел, тальк, каолин, слюда.

Используются также стеклянные, асбестовые и химические волокна, монокристаллические волокна некоторых металлов, листовые

материалы (ткани, бумага). Количество наполнителя в материале может изменяться в широких пределах, в высоконаполненных композициях оно иногда превышает содержание полимера.

Наполнители вводят для улучшения механических свойств полимеров, уменьшения усадки во время отверждения полимера, повышения стойкости к действию различных сред, а также для снижения стоимости полимерных материалов. В качестве наполнителей могут использоваться практически любые материалы, в том числе и сами полимеры, если придать им определенную форму и размеры. Содержание наполнителя в полимерах может изменяться в широких пределах.

В зависимости от характера взаимодействия с полимером наполнители условно делятся на инертные и активные.

Инертные наполнители практически не изменяют свойства полимера, но так как они более доступные и дешевые, то снижают стоимость полимерных материалов.

Активные наполнители существенно улучшают эксплуатационные свойства полимерных материалов.

Наполнители могут быть в твердом, жидком или газообразном состоянии. Они должны равномерно распределяться в объеме образующейся композиции и иметь четко выраженную границу раздела с непрерывной полимерной фазой.

Кроме того, к наполнителям предъявляются следующие требования:

- способность смешиваться с полимером с образованием системы требуемой степени однородности;
- способность смачиваться раствором или расплавом полимера;
- стабильность свойств в процессах переработки, при хранении и эксплуатации пластмасс;
- доступность и низкая стоимость.

Требования к наполнителям термопластов и реактопластов различны.

Наполнители для реактопластов могут быть более грубодисперсными и менее однородными по размеру частиц, чем наполнители для термопластов. Это связано с тем, что реактопласты перерабатываются в виде расплавов или растворов с относительно невысокой вязкостью, и следовательно, хорошо пропитывают наполнитель. Желательно, чтобы они содержали функциональные группы, способные участвовать в образовании химических связей полимер – наполнитель.

Наполнители для термопластов должны иметь шероховатую поверхность, так как это обеспечивает его прочное механическое сцепление с поверхностью полимера.

Все наполнители по физическому состоянию можно разделить на порошкообразные, волокнистые, зернистые и листовые.

По своей природе наполнители делятся на органические и неорганические.

Размер частиц, как правило, не превышает 40 мкм и чаще всего составляет 1–15 мкм. Для улучшения технологических свойств высоконаполненных композиций в отдельных случаях применяют наполнители с размером частиц до 200–300 мкм.

Из органических наполнителей наибольшее распространение получила древесная мука, содержащая в основном целлюлозу и лигнин. Она имеет низкую стоимость и широко используется в производстве реактопластов. Недостатками древесной муки является ее невысокая тепло-, влаго- и химическая стойкость.

Для повышения тепло- и химической стоимости используют технический углерод, измельченный кокс и графит.

Из неорганических наполнителей применяют мел, каолин, тальк, слюду. Мел с размером частиц 5–20 мкм является одним из важнейших наполнителей для полиэтилена и поливинилхлорида. Каолин с размером частиц около 2 мкм используют для наполнения полиэтилена, поливинилхлорида и других пластмасс. Тальк с размером частиц 3–5 мкм и слюду применяют в качестве наполнителя термо- и реактопластов с целью улучшения их электроизоляционных свойств.

Волокнистые наполнители используются в виде непрерывного и рубленого (штапельного) волокна длиной от нескольких десятков микрон (коротковолокнистые) до нескольких десятков миллиметров (длинноволокнистые). Волокнистые наполнители еще называются армирующими.

Зернистые относятся к новым видам наполнителей. Это полые сферы, чешуйки и гранулы различной формы из стекла, углерода, полимеров. Размеры частиц колеблются от 2 до 500 мкм, а размер гранул достигает нескольких миллиметров. Такие наполнители придают полимерам коррозионную стойкость и благодаря наличию граней изменяют их оптические свойства, регулируют коэффициент трения.

Листовые наполнители используются в виде бумаги, шпона, тканых и нетканых материалов пористой или волокнистой структуры.

Они применяются для получения слоистых пластиков, но в основном для наполнения термореактивных полимеров.

Из других видов наполнителей известны газообразные и жидкие.

Газообразные – это азот, водород, аммиак, диоксид углерода и другие, низкокипящие углеводороды (пентан, изопентан и др.), а также твердые вещества органического и неорганического происхождения (карбонаты аммония, натрия, порофоры и др.), которые вспенивают полимерные материалы.

В качестве жидких наполнителей применяют воду и минеральные масла. Воду используют при получении жестких материалов на основе полиэфирных смол; минеральные масла – для сохранения слоя смазки на поверхности трения.

Нанонаполнители – сравнительно новый компонент полимерных материалов. Они представляют собой частицы диспергирования до размеров, соизмеримых с размерами полимерных макромолекул, т. е. до единицы или десятков нанометров. В этом случае наполнитель активно участвует в химических и физических процессах образования и структурирования полимеров, существенно влияет на механизм формирования свойств пластмасс.

Известны следующие нанонаполнители: наноуглерод, наноникель, каолин, нанокремний и ряд других новейших добавок. Их содержание составляет от нескольких долей до 1%.

Существует ряд изделий, в которые нельзя вводить наполнитель – технический углерод. К ним относятся некоторые типы шлангов, применяемых при пескоструйной очистке и в центробежных насосах для абразивных суспензий. Эти изделия работают в особых условиях истирания, в которых требуется более высокая эластичность, чем наблюдается в композициях с техническим углеродом. Для многих изделий специального назначения, например электроизоляционных оболочек, особенно для высоких напряжений, не могут использовать этот тип наполнителя из-за его относительно высокой электропроводимости. К ним же относятся изделия санитарии, гигиены и резиновая обувь, для которых в интересах сбыта предпочтительней применять цветные резины.

По вышеизложенным причинам на практике используется, кроме технического углерода, еще ряд материалов неорганического и органического происхождения. Среди них можно встретить активные наполнители, однако основная масса относится к неактивным.

Коллоидная кремневая кислота (аэросил, белая сажа), или *высокодисперсный оксид кремния*. В зависимости от способа получения и технологических параметров выделяют наполнители, различающиеся размерами частиц, структурностью, природой поверхности и некоторыми другими свойствами. Наибольшей дисперсностью обладают аэросилы. Их удельная поверхность составляет от 150 до 420 м²/г, и наиболее широкое применение они нашли для усиления силоксановых каучуков. Аэросилы получают пирогенным способом.

Коллоидная кремнекислота, полученная «мокрым» способом (белая сажа), является менее активным наполнителем, так как удельная поверхность в этом случае составляет 25–140 м²/г, и применяется в качестве усиливающего наполнителя резин на основе каучуков общего и специального назначения. Аэросил и белая сажа позволяют получать цветные резины на основе каучуков нерегулярного строения, по прочностным свойствам не уступающим резинам с техническим углеродом одинаковой удельной поверхности. Как и технический углерод, этот вид наполнителя также имеет на поверхности полярные группы, которые эффективно адсорбируют ускорители вулканизации и тем самым снижают активность вулканизирующей группы.

Природный мел является одним из самых распространенных применяемых неактивных наполнителей. Он состоит преимущественно из СаСО₃, содержание которого достигает 97–99%. Плотность мела составляет от 2500 до 2730 кг/м³, форма частиц в основном сферическая, однако они могут существенно меняться в зависимости от способа обработки сырого мела. На практике применяются различные сорта мела: молотый, дезинтегрированный, отмученный, осажденный и активированный. Наиболее дисперсным является молотый мел – диаметр частиц 5–20 мкм, а активированный осажденный мел (около 0,04 мкм) благодаря относительно высокой дисперсности применяется для усиления бутадиеновых и бутадиенстирольных каучуков.

В резиновой промышленности мел применяется не только как доступный дешевый наполнитель, но и как антиадгезив для опудривания резиновых смесей. Кроме того, введение мела в эластомерные композиции незначительно изменяет вязкость композиций, которые легко каландруются, шприцуются, имеют ровную поверхность и хорошо заполняют формы. Степень наполнения

мелом определяется требованиями, предъявляемыми к резинам, и может достигать 200 мас. ч.

Из других неорганических материалов, находящихся практическое применение, используют каолин, диатомит, барит, гипс, пемзу, тальк, оксиды магния и цинка, фторид кальция. В отдельных случаях применяются и некоторые природные и синтетические материалы, например щелочной сульфатный лигнин, а также различные высокомолекулярные соединения, например полистирол, поливинилхлорид.

Наполнители являются одним из важнейших компонентов рецептур полимерных композиций, позволяющих эффективно воздействовать на комплекс химических, физико-механических и эксплуатационных свойств. Особое место среди них занимают тонкодисперсные материалы с диаметром частиц менее 200 нм, так как только благодаря их применению многие из синтетических каучуков нашли широкое практическое использование.

Так, например, ненаполненные композиции на основе натрий-бутадиенового каучука имеют предел прочности при разрыве около 0,5–1 МПа, а при введении 50 мас. ч. технического углерода составляют 15–19 МПа.

Наполнители также воздействуют на технологические свойства эластомерных композиций и увеличивают объем материала, что приводит к снижению стоимости, так как цена их, за редким исключением, ниже цены каучуков. Отдельные виды наполнителей могут применяться для окраски резин.

Все известные наполнители подразделяются на две группы по влиянию на прочностные свойства эластомерных композиций. К первой группе относятся вещества, повышающие прочность при разрыве, раздире и сопротивлении истиранию, называемые активными или усиливающими.

Во вторую группу включаются инертные наполнители (разбавители), которые, хотя и снижают вышеперечисленные показатели, но улучшают перерабатываемость эластомерных композиций, придают композициям ряд специфических свойств (тепло-, масло- и светостойкость, негорючесть и т. д.).

Деление наполнителей на активные и инертные в определенной степени условно, так как величина усиливающего эффекта зависит от природы полимера и характера взаимодействия его с поверхностью наполнителя.

В качестве наполнителей эластомеров могут использоваться разнообразные твердые продукты неорганического и органического происхождения. Однако до настоящего времени самым распространенным наполнителем является технический углерод, позволяющий в широких пределах модифицировать как технологические, так и технические свойства эластомерных композиций.

2.2. Пластификаторы

Пластификаторы полимеров (от греч. слова *plastíos* – лепной, пластичный и латинского *facio* – делаю) – вещества, повышающие пластичность и (или) эластичность полимеров при их переработке и эксплуатации.

Пластификаторы – органические соединения, придающие пластичность полимерам и расширяющие интервал их высокоэластичного состояния. Введение пластификатора повышает морозостойкость полимера, облегчает условия его переработки.

Введение в полимер пластификатора смещает температуры текучести (T_T) и стеклования (T_c) в область более низких температур, а также уменьшает модуль упругости полимера, т. е. делает его более мягким (поэтому пластификаторы иногда называют мягчителями). Поскольку полимеры большей частью перерабатываются в вязкотекучем состоянии, пластификация широко используется при переработке полимеров с целью снижения температуры перерабатываемой массы.

Пластификаторы должны обладать малой упругостью паров, химической стойкостью, нерастворимостью в воде, термо- и светостойкостью, не должны быть токсичными и т. д. Универсального пластификатора, который обладал бы всем комплексом этих свойств, нет. В зависимости от области применения полимера и предъявляемых требований в композиции вводят либо один, либо смесь пластификаторов.

Благодаря применению пластификаторов (иногда их называют также мягчителями) облегчается диспергирование в полимерах наполнителей и других сыпучих ингредиентов, снижаются температуры переработки композиций на технологическом оборудовании. Некоторые пластификаторы придают полимерным материалам негорючесть, свето-, термо-, морозо-, влагостойкость и другие ценные специальные свойства.

В качестве пластификаторов используют нелетучие, химически инертные продукты, способные совмещаться с полимером, т. е. образовывать с ним устойчивые композиции при введении достаточно больших количеств пластификаторов (иногда до 100% в расчете на массу полимера).

Для введения пластификаторов в композицию используют различные способы:

- 1) пластификаторы пластификации: диспергирование полимера в растворе или эмульсии;
- 2) пластификаторы добавления: добавляют к мономерам перед их полимеризацией или поликонденсацией;
- 3) пластификаторы введения: добавляют во многокомпонентную полимерную композицию и др.

Наибольшее значение пластификаторы имеют при переработке пластмасс (около 70% от общего объема производства пластификаторов используют при переработке поливинилхлорида). Важную роль они играют также в производстве резины и лакокрасочных материалов.

Введение пластификаторов в каучуки снижает опасность подвулканизации, понижает твердость, гистерезисные потери и теплообразование при многократных деформациях резин. Те пластификаторы, которые только облегчают переработку каучуков, снижая температуру текучести резиновых смесей, но не улучшают морозостойкость вулканизата, называют мягчителями: это обычно парафинонафтяные и ароматические нефтяные масла, парафины, канифоль, продукты взаимодействия растительных масел с серой (фактисы), нефтяные битумы (рубраксы), кумароно-инденовые смолы.

Общие требования к пластификаторам: термодинамическая совместимость с полимером; низкая летучесть; отсутствие запаха; химическая инертность; устойчивость к экстракции из полимера жидкими средами, например маслами, моющими средствами, растворителями.

Пластифицировать можно практически все полимеры, однако эффективность пластифицирующего действия, свойства пластифицированных полимеров определяются в первую очередь химическим составом и молекулярной массой пластификаторов. Содержание пластификаторов в полимерной композиции может составлять от 1–2 до 100% и более от массы полимера, в резиновой смеси – до 100% от массы каучука.

Пластификаторы классифицируют обычно по химической природе и степени совместимости с полимером. Наиболее распространенные

пластификаторы – сложные эфиры фталевой кислоты (фталаты составляют примерно 80% всего объема выпускаемых в промышленности пластификаторов), алифатических дикарбоновых кислот, фосфорной кислоты (фосфаты) и низкомолекулярные полиэфиры. Применяют также хлорированные парафины, кремнийорганические жидкости, эпоксицированное соевое масло, парафины, продукты лесохимического производства и др.

В промышленности широко используют фталаты и среди них ди-(2-этилгексил)фталат, который применяют для пластификации поливинилхлорида и эфиров целлюлозы. По свойствам к нему близки фталаты синтетических высших жирных спиртов фракций C_6-C_{10} , C_7-C_9 , C_8-C_{10} нормального строения, а также изооктилового, изононилового и изодецилового спиртов; низкая летучесть последних трех пластификаторов позволяет использовать их для производства теплостойких композиций. Более высокая теплостойкость достигается с применением в качестве пластификаторов эфиров тримеллитовой и пиромеллитовой кислот.

Для получения морозостойких полимерных композиций используют эфиры алифатических, дикарбоновых кислот, преимущественно адипиновой, себациновой и 1,10-декандикарбоновой.

Фосфатные пластификаторы сообщают полимерным композициям также огнестойкость (например, галогенфосфорсодержащие пластификаторы и триарилфосфаты) или морозостойкость и огнестойкость (триалкил- и алкиларилфосфаты). Сложноэфирные пластификаторы обладают всеми химическими свойствами сложных эфиров. Они медленно гидролизуются под действием влаги с образованием кислоты и спирта; реакция ускоряется основаниями и кислотами. В обычных условиях устойчивы к действию кислорода воздуха, однако при повышенных температурах в них протекают термоокислительные процессы, приводящие к деструкции.

Радиационная стойкость сложноэфирных пластификаторов зависит от их химического состава. Так, стойкость к γ -излучению уменьшается в ряду:

диметилфталат > диэтилфталат > дибутилфталат > диоктилфталат.

К действию микроорганизмов устойчивы эфиры фталевой и фосфорной кислот, стойкость эфиров алифатических дикарбоновых кислот снижается с увеличением общего числа углеродных атомов в молекуле (в остатках как спирта, так и кислоты).

Биологическая активность фталатов находится в прямой зависимости от их растворимости в воде и в обратной – от молекулярной массы.

Полиэфирные пластификаторы – продукты взаимодействия дикарбоновых кислот с гликолями, этерифицированные по концевым группам реакцией с монокарбоновой кислотой или спиртом. Эти пластификаторы не растворяются или ограниченно растворяются во многих органических средах, незначительно мигрируют из пластифицированных композиций при контакте в другие полимеры, содержат низкий процент летучих. Полиэфирные пластификаторы на основе 1,2-пропиленгликоля относятся к малотоксичным.

Пластификаторы подразделяются на следующие группы: сложные эфиры (фталаты, фосфаты и др.); углеводороды и их производные; растительные масла и продукты их модификации.

Наибольшее промышленное применение в качестве пластификаторов полимеров нашли сложные эфиры. Объем комплексного производства диэфирных пластификаторов составляет 85% от общего объема производства всех пластификаторов. Наиболее крупным потребителем диэфирных пластификаторов является производство гибкого поливинилхлорида (ПВХ) – 80–85%, поливинилацетата – 4,5%, целлюлозы – 4% и синтетического каучука – 2%.

Для пластификации поливинилхлорида рекомендуются эфиры дикарбоновых кислот и высших спиртов, содержащих от 7 до 10 атомов углерода в молекуле, а для пластификации эфиров целлюлозы – эфиры дикарбоновых кислот и низших спиртов (метилового, бутилового).

Пластификаторы применяют также в резиновой и лакокрасочной промышленности.

В качестве пластификаторов наиболее широко используют лигносульфонаты; все шире стали применять суперпластификаторы – продукты сульфометилирования меламина, сульфирования нафталина и других ароматических углеводородов с последующей их конденсацией с формальдегидом.

В основе механизма пластификации и уменьшения водосодержания при применении пластификаторов лежит адсорбция его молекул на поверхности высокодисперсных твердых частиц (например, зерен цемента). Это сопровождается изменением величины и знака поверхностного заряда последних (электрокинетического потенциала), их дезагрегацией и выделением воды, удерживаемой в агрегатах, состоящих из частиц твердой фазы. Могут иметь значение также снижение поверхностного натяжения воды, увеличение

смачиваемости твердой фазы и возрастание воздухововлечения (т. е. повышается содержание пузырьков диспергированного воздуха, которые оказывают пластифицирующее влияние).

Лакокрасочная промышленность применяет в качестве пластификаторов в основном сложные эфиры, а также касторовое масло, совол, хлорпарафин и некоторые другие материалы.

Из сложных эфиров наибольший практический интерес представляют эфиры кислот: фталевой (фталаты), фосфорной (фосфаты), себаценовой (себаценоаты) и адипиновой (адипинаты).

Основные представители фталатных пластификаторов:

– диметилфталат (ДМФ) – применяется для пластикации поливинилацетата, резины, пластмасс, ацетилцеллюлозных лаков. Обладает довольно высокой летучестью;

– диэтилфталат (ДЭФ) – используют в качестве пластификатора для нитроцеллюлозных и этилцеллюлозных лаков и пластмасс;

– дибутилфталат (ДБФ) – применяется для пластикации ПВХ и его сополимеров, нитроцеллюлозы, ацетобутираля, полистирола, полиметилметакрилата, поливинилацетата, синтетического каучука. Недостатком является относительно высокая летучесть;

– диоктилфталат (ДОФ) – применяется для пластикации ПВХ и его сополимеров, полистирола, поливинилбутираля, смешанных и простых эфиров целлюлозы. Обладает малой летучестью.

Фталаты нашли широкое применение благодаря хорошей стабильности, способности придавать полимерам хорошую морозостойкость и высокие диэлектрические показатели.

Фосфаты усиливают огнестойкость, а также морозостойкость полимеров. Основные их представители: триоктилфосфат, трибутилфосфат, три-(2-этилгексил)фосфат, трикрезилфосфат. Применяются они для пластикации поливинилхлорида, лакокрасочных материалов на основе хлорированного поливинилхлорида, нитролаков и нитроэмалей, эфиров целлюлозы. Наиболее токсичный из них трикрезилфосфат.

Адипинаты и себаценоаты придают полимерам высокую морозостойкость, эластичность при низких температурах. Эфиры адипиновой кислоты более летучи, чем себаценовой. Основные представители: дибутилсебаценоат (ДБС) и диоктилсебаценоат (ДОС) – применяются для пластикации виниловых полимеров, эфиров целлюлозы, каучуков. Диоктиладипинат (ДАО) применяют для пластикации ПВХ и других полимеров.

Несмотря на протесты «зеленых» и медиков, наиболее распространенный пластификатор как у нас, так и за рубежом – ДОФ. Он относится к так называемым первичным пластификаторам.

Помимо первичных имеются также вторичные пластификаторы, которые используются самостоятельно, но могут частично заменять первичные. Цена вторичных пластификаторов естественно ниже, поэтому многие производители стараются их использовать.

Классическими примерами вторичных пластификаторов являются хлорпарафины, а также смесь производных 1,3-диоксановых спиртов, их высококипящих эфиров (ЭДОС) и их аналогов. Удешевляя (по сравнению с ДОФ) продукцию, эти пластификаторы ухудшают ряд свойств пластиков. Хлорпарафины увеличивают плотность пластика и снижают его термостабильность. ЭДОС является смесью побочных продуктов производства изопрена, состав его нестабилен, а летучесть заметно выше, чем у ДОФ. Помимо ЭДОС, в настоящее время на рынке имеется целый ряд его аналогов, характеристики которых даже несколько хуже. При введении этих пластификаторов в композицию (особенно в больших количествах) могут возникать проблемы с переработкой пластиков, пористостью, стабильностью цвета и выпотеванием на поверхность.

2.3. Стабилизаторы

В процессе переработки полимеров и эксплуатации изделий происходит ухудшение их физико-механических свойств, т. е. протекает процесс старения. Старение происходит из-за воздействия на полимер тепла, света, кислорода воздуха, влаги, агрессивных химических агентов, механических нагрузок, все эти факторы создают условия для возникновения и развития нежелательных химических реакций. По типу основного агента, который вызывает разрушение полимеров (процесс разрушения полимера в этом случае называется деструкцией), бывают следующие виды старения: тепловое, термоокислительное, световое, озонное (атмосферное), радиационное, утомление (под действием механических нагрузок). Обычно при старении одновременно с деструкцией происходит и процесс структурирования. Деструкция – это процесс разрыва химических связей, процесс разрушения молекул полимеров. Структурирование – это дополнительное поперечное сшивание цепей макромолекул.

Такое изменение структуры приводит к ухудшению эксплуатационных свойств: снижается механическая прочность, теряется эластичность, повышается жесткость и хрупкость. Старение полимеров происходит из-за окисления кислородом воздуха под влиянием световой, тепловой или какого-нибудь другого вида энергии. Особенно быстро окисление протекает при повышенных температурах. Скорость окисления увеличивается в присутствии примесей металлов переменной валентности, которые могут присутствовать в полимере из-за коррозии аппаратуры или неполного удаления катализатора при синтезе полимера.

Для защиты полимеров от старения применяют специальные вещества – стабилизаторы или их еще называют противостарители.

Стабилизаторы подразделяют на следующие группы:

– антиоксиданты – соединения, предотвращающие термическую и термоокислительную деструкцию;

– антиозонанты – вещества, предотвращающие озонное старение;

– светостабилизаторы – вещества, предотвращающие фотоокислительную деструкцию;

– антирады – вещества, предотвращающие радиационную деструкцию.

Стабилизаторы обычно вводят в полимер на стадии переработки в небольших количествах (до 5%). Стабилизаторы, которые подавляют развитие реакций деструкции, называют также ингибиторами. Ингибиторы способны распадаться на радикалы и обрывать цепную реакцию.

Антиоксиданты по механизму действия делятся на две группы:

– блокирующие стабилизаторы – вещества (ингибиторы), которые реагируют со свободными полимерными радикалами на стадии их образования. К ним относятся ароматические амины и фенолы с разветвленными алкильными заместителями;

– превентивные антиоксиданты – вещества, способные вызывать разложение образующихся в полимере первичных продуктов окисления (гидропероксидов). К ним относятся сульфиды, меркаптаны, тиофосфаты.

От термоокислительного старения эффективно защищают два совместно используемых стабилизатора, которые действуют по разным механизмам. Взаимное усиление действия двух и более стабилизаторов называется синергическим эффектом. Синергическим действием обладает, например, смесь дилаурилтиодипропионата

(первичное действие) и ионола (вторичное действие). Эта смесь применяется для стабилизации полиолефинов. Кроме того, например оксиды и соли металлов переменной валентности при повышенных температурах способны поглощать кислород, в результате ослабляется термоокислительная деструкция.

Светостабилизаторы используют для защиты полимеров от светового старения. Их действие основано на поглощении солнечного света. Светостабилизаторы называются еще УФ-абсорберами или экранирующими стабилизаторами. Защитное действие заключается в том, что вся поглощенная ими энергия расходуется на перестройку их молекул. Антирады способствуют повышению стойкости полимеров к действию ионизирующих излучений. К ним относятся различные ароматические углеводороды: антрацен, нафталин, амины, фенолы с алкильными заместителями и др. Антирады действуют как «энергетические губки», они принимают на себя энергию, поглощенную полимером, и рассеивают ее в виде тепла или флуоресценции, не претерпевая при этом существенных изменений. При выборе стабилизаторов надо принимать во внимание их доступность, стоимость и токсичность. Из крупнотоннажных полимеров наиболее склонен к старению поливинилхлорид, который способен выделять при разложении хлористый водород. Для его защиты в момент переработки применяют смесь стабилизаторов: стеараты кальция, свинца – для поглощения хлористого водорода; бензофенолы – для световой защиты от УФ-лучей; фосфиты – для разложения полимерных гидропероксидов при термоокислении.

В настоящее время разработан целый ряд стабилизаторов, применяемых в промышленности для таких полимеров как полиолефины, поливинилхлорид, полистирол, полиформальдегид, полиамиды, поликарбонаты.

2.4. Ингредиенты эластомерных композиций

Эластомерные композиции представляет собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из полимерной основы и различных химических добавок (ингредиентов). Для получения резины применяют высокомолекулярные полимеры с низкой (ниже комнатной) температурой перехода из стеклообразного или твердого кристаллического состояния в высокоэластическое – эластомеры.

Эластомеры, которые могут быть переработаны в резину, обычно называются каучуками. Кроме каучуков при изготовлении резиновых изделий применяются различные компоненты (ингредиенты), которые необходимы в процессах их переработки (повышение пластичности, поперечное сшивание и др.) и для придания резиновым изделиям определенных свойств.

По своему действию ингредиенты разделяются на вулканизирующие агенты, ускорители и активаторы вулканизации, наполнители, пластификаторы, противостарители и др. Большинство резиновых изделий изготовлено не из одной резины, а с добавлением текстильных или металлических армирующих материалов. К ним относятся волокна, нити, проволока, металл. В качестве примера можно привести современную автомобильную шину, в которой на долю текстильных материалов (корд) приходится 15–35% массы.

Сырье и материалы составляют главную часть всех затрат при производстве резиновых изделий, причем высокая материалоемкость производства приводит к большим затратам на транспортирование сырья и хранение его на складах.

Для получения резины с заданным комплексом свойств готовят резиновую смесь – композицию каучуков и ингредиентов определенного состава.

Целью процесса смешения является равномерное распределение ингредиентов в среде полимера. При смешении каучуков с ингредиентами происходит не только перемешивание компонентов, но и взаимодействие между компонентами резиновой смеси и др. Характер этих явлений определяется условиями переработки, поэтому резиновые смеси одинакового состава могут иметь различные свойства.

Эластомерные композиции являются основным полуфабрикатом, из которого изготавливают резиновые изделия.

Завершающим и важнейшим процессом в производстве резиновых изделий является вулканизация. В результате вулканизации каучук теряет пластические свойства, становится эластичным и прочным и приобретает другие, характерные для резины свойства. Можно утверждать, что только благодаря открытию вулканизации каучук стал технически ценным материалом. Однако ни повышенная температура, ни наличие серы не являются обязательными условиями для осуществления вулканизации. Превращение каучука в резину может происходить под действием ионизирующих излучений

при пониженных температурах или при нагревании в присутствии органических пероксидов, фенолоформальдегидных смол и т. д.

Для получения резиновых изделий массе резиновой смеси необходимо придать определенную форму – подвергнуть ее формованию.

Основными способами формования резиновых смесей и других полимерных материалов являются каландрование, шприцевание (экструзия), прессование, литье под давлением. В резиновой промышленности широко совмещают процессы формования с вулканизацией.

Приготовление резиновой смеси. Химическое соединение только из каучука и серы имело бы ограниченное практическое применение. Чтобы улучшить физические свойства каучука и сделать его более пригодным для эксплуатации, необходимо модифицировать его свойства путем добавления других веществ. Все вещества, смешиваемые с каучуком перед вулканизацией, включая серу, называются ингредиентами резиновой смеси. Они вызывают как химические, так и физические изменения в каучуке. Их назначение – модифицировать твердость, прочность, ударную вязкость и увеличить стойкость к истиранию, маслам, кислороду, химическим растворителям, теплу и растрескиванию. Для изготовления резин используются различные составы.

Ускорители и активаторы. Некоторые химически активные вещества, называемые ускорителями, при использовании вместе с серой уменьшают время вулканизации и улучшают физические свойства каучука. Примерами неорганических ускорителей являются свинцовые белила, свинцовый глет (монооксид свинца), известь и магнезия (оксид магния). Органические ускорители гораздо более активны и являются важной частью почти любой резиновой смеси. Они вводятся в смесь в относительно малой доле: обычно бывает достаточно от 0,5 до 1,0 части на 100 частей каучука. Большинство ускорителей полностью проявляют свою эффективность в присутствии активаторов, таких как оксид цинка, а для некоторых требуется органическая кислота, например стеариновая. Поэтому современные рецептуры резиновых смесей обычно включают оксид цинка и стеариновую кислоту.

Мягчители и пластификаторы. Мягчители и пластификаторы обычно используются для сокращения времени приготовления резиновой смеси и понижения температуры процесса. Они также способствуют диспергированию ингредиентов смеси, вызывая набухание

или растворение каучука. Типичными мягчителями являются парафиновое и растительные масла, воски, олеиновая и стеариновая кислоты, хвойная смола, каменноугольная смола и канифоль.

Упрочняющие наполнители. Некоторые вещества усиливают каучук, придавая ему прочность и сопротивляемость износу. Они называются упрочняющими наполнителями. Углеродная (газовая) сажа в тонко измельченной форме – наиболее распространенный упрочняющий наполнитель; она относительно дешева и является одним из самых эффективных веществ такого рода. Протекторная резина автомобильной шины содержит приблизительно 45 частей углеродной сажи на 100 частей каучука. Другими широко используемыми упрочняющими наполнителями являются оксид цинка, карбонат магния, кремнезем, карбонат кальция и некоторые глины, однако все они менее эффективны, чем газовая сажа.

Наполнители. На заре каучуковой промышленности, еще до появления автомобиля, некоторые вещества добавлялись к каучуку для удешевления получаемых из него продуктов. Упрочнение еще не имело большого значения, и такие вещества просто служили для увеличения объема и массы резины. Их называли наполнителями или инертными ингредиентами резиновой смеси. Распространенными наполнителями являлись бариты, мел, некоторые глины и диатомит.

Антиоксиданты. Использование антиоксидантов для сохранения нужных свойств резиновых изделий в процессе их старения и эксплуатации началось после Второй мировой войны. Как и ускорители вулканизации, антиоксиданты – сложные органические соединения, которые при концентрации 1–2 части на 100 частей каучука препятствуют росту жесткости и хрупкости резины. Воздействие воздуха, озона, тепла и света – основная причина старения резины. Некоторые антиоксиданты также защищают резину от повреждения при изгибе и нагреве.

Пигменты. Упрочняющие и инертные наполнители и другие ингредиенты резиновой смеси часто называют пигментами, хотя используются и настоящие пигменты, которые придают цвет резиновым изделиям. Оксиды цинка и титана, сульфид цинка и литопон применяются в качестве белых пигментов. Желтый крон, железистоокисный пигмент, сульфид сурьмы, ультрамарин и ламповая сажа используются для придания изделиям различных цветовых оттенков.

По механизму сополимеризации ненасыщенного полимера и низкомолекулярной добавки, содержащей кратные связи (виниловый мономер, чаще всего стирола или метилметакрилата), получают, например, ненасыщенные полиэфирные смолы. Поликонденсацией малеинового ангидрида и гликоля получают смолу – ненасыщенный полиэфир, содержащий в составе основной цепи двойные связи.

Сшивание каучуков называется *вулканизацией*. Впервые превращение пластичного каучука в резину было обнаружено при нагревании его с серой. Этот процесс получил название вулканизации. В результате вулканизации каучук теряет пластические свойства, становится эластичным и прочным, приобретает другие, характерные для резины свойства.

Ускорителями вулканизации обычно называют химические соединения, которые вводят в смесь каучука с другими ингредиентами для ускорения процесса вулканизации и улучшения физико-механических свойств резины. Некоторые ускорители одновременно являются вулканизирующими веществами. Так, например, тиурамы и полисульфидные ускорители при температуре вулканизации могут вулканизовать некоторые каучуки без применения элементарной серы. Активность большинства ускорителей повышается при введении так называемых активаторов, например оксида цинка, стеариновой кислоты и др. Вещества, являющиеся ускорителями вулканизации для одного вида каучука, могут полностью утратить свойства ускорителей и играть иную роль в смесях на основе другого каучука. Например, дибензтиазолилдисульфид, являясь ускорителем вулканизации натурального и бутадиенстирольных каучуков, служит замедлителем подвулканизации и пластификатором для полихлоропрена. Ускорители вулканизации могут защищать резины от старения и оказывать другие воздействия.

Вначале развития резиновой промышленности широкое применение в качестве ускорителей серной вулканизации натурального каучука получили оксиды и гидроксиды щелочноземельных металлов и некоторые амфотерные оксиды. К таким ускорителям, названным неорганическими, относятся оксиды магния и свинца, гидроксид кальция, а также оксид цинка.

После открытия органических ускорителей данные оксиды стали применяться как активаторы вулканизации. Наиболее широко

используется оксид цинка, но в отдельных случаях – оксиды магния, кадмия, висмута и др.

Применение органических ускорителей внесло самые существенные изменения в процесс вулканизации каучука. Они значительно улучшают технические свойства вулканизатов, повышают сопротивляемость резиновых изделий старению, создают возможность получения однородных массивных изделий, сокращают продолжительность вулканизации, в результате чего в несколько раз уменьшается потребность в оборудовании и расход энергии, увеличивается производительность труда.

Вследствие применения органических ускорителей расширилось использование резины в технике, появилась возможность изготавливать изделия непосредственно из латекса; потребовалось также повышение общей технической культуры производства и более строгий контроль производственных процессов.

Органические ускорители принадлежат к самым различным классам органических соединений. В настоящее время предложено весьма большое число ускорителей (до нескольких сот наименований), многие из которых по действию совершенно тождественны. На практике, однако, используют сравнительно небольшое число ускорителей, причем четыре-пять из них имеют массовое применение и еще несколько ускорителей, отличающихся особыми свойствами, применяют для специальных целей. Нет единой теории, объясняющей действие ускорителей. Предполагают, что в результате взаимодействия серы, ускорителей и активаторов вулканизации образуются промежуточные соединения (сульфидирующий комплекс) или действительные вулканизирующие агенты и присоединение серы к цепи каучука происходит за счет дальнейших превращений этих соединений. Природа промежуточных соединений и механизм процесса различны для ускорителей разного типа.

Органические ускорители проявляют наиболее активное действие при вулканизации в присутствии некоторых оксидов и гидроксидов металлов, которые получили название активаторов вулканизации. К ним относятся оксиды цинка, свинца, магния, стронция, кальция, кадмия, висмута или их комбинации.

Основным активатором, который применяется в технологии резины, является оксид цинка, хотя при вулканизации некоторых синтетических каучуков более активны другие оксиды.

Наиболее эффективное действие оксиды металлов оказывают в присутствии поверхностно-активных веществ, в основном жирных кислот – стеариновой, пальмитиновой, олеиновой и их цинковых солей, а также в присутствии бензойной кислоты и некоторых ее замещенных оксиэтилированных алкилфенолов.

К активаторам вулканизации относят также некоторые органические основания (моно-, ди- и триэтаноламины), смесь этиленгликоля и стеарата аммония и др. Характер действия активаторов зависит от типа каучука, используемых ускорителей, наполнителей и температуры вулканизации. Влияние активаторов на структуру вулканизатов и соответственно на физические, механические и эксплуатационные свойства разнообразно.

В присутствии оксида цинка при вулканизации резиновой смеси всегда образуются цинковые соли ускорителей и сульфид цинка. Получаемые вулканизаты характеризуются более высокими физико-механическими показателями: прочностью, сопротивлением раздиру и динамической выносливостью, скорость же присоединения серы возрастает незначительно. Установлено, что в присутствии активаторов увеличивается концентрация поперечных связей при одном и том же количестве связанной серы. Это свидетельствует об увеличении доли межмолекулярных и уменьшении доли внутримолекулярных связей.

Известно, что активаторы участвуют во всех стадиях процесса образования поперечных связей в присутствии серы и ускорителей вулканизации. При повышенных температурах активаторы образуют с ускорителями вулканизации промежуточные комплексные соединения. Возможность существования таких комплексных соединений подтверждается тем, что реакция взаимодействия ускорителей вулканизации с активаторами при достижении определенной температуры протекает очень быстро и сопровождается изменением агрегатного состояния реагирующих веществ с образованием устойчивых при обычной температуре термопластичных продуктов. Испытание полученных соединений показало, что они являются эффективными ускорителями и обеспечивают получение резин (без применения активаторов) с высокими механическими и динамическими свойствами. Комплексные соединения, по-видимому, лучше растворяются в резиновых смесях, чем исходные компоненты. Кроме того, в их присутствии облегчается взаимодействие серы с ускорителем (образование сульфидирующего комплекса).

Увеличение степени сшивания и уменьшение степени сульфидности поперечных связей в присутствии активаторов вулканизации объясняется главным образом влиянием введенного активатора на реакции полисульфидных подвесок, образовавшихся при взаимодействии сульфидирующего комплекса с каучуком. Предполагается, что в результате сорбции подвесок на поверхности частиц оксидов облегчается их взаимодействие с образованием поперечных связей. Оксиды металлов способны реагировать также с тиольными группами, образующимися в каучуке при вулканизации, что приводит к возникновению дополнительных поперечных связей.

Установлено, что оксиды взаимодействуют с серой полисульфидных связей вулканизатов с образованием поперечных связей меньшей степени сульфидности. Активаторы участвуют и во вторичных реакциях ускорителя. Так, при вулканизации тиурамами без оксидов металлов образуется дитиокарбаминовая кислота, которая распадается на сероуглерод и диметиламин. Эти продукты активируют процессы окислительной деструкции каучука, что приводит к уменьшению эффекта вулканизации. Оксиды металлов, особенно оксид цинка и оксид кадмия, связывают дитиокарбаминовую кислоту в виде устойчивой соли, которая подавляет окислительную деструкцию и тем самым увеличивает эффект вулканизации каучука. Поверхностно-активные вещества благодаря их мицелярной растворимости приводят к сольubilизации ускорителей вулканизации, серы, оксидов и таким образом способствуют образованию сульфидирующего комплекса.

Преждевременную вулканизацию (подвулканизацию) резиновых смесей при переработке можно предотвратить, применяя соответствующие ускорители с высокой критической температурой действия или большим индукционным периодом вулканизации. Время до начала подвулканизации можно также увеличить, используя специальные вещества – замедлители подвулканизации. Интенсификация процессов переработки резиновых смесей и, соответственно, увеличение температур повышают роль этих компонентов резиновых смесей. Основными требованиями к замедлителям подвулканизации являются увеличение продолжительности нахождения резиновых смесей в текучем состоянии при температурах переработки и отсутствие влияния их на скорость вулканизации, а также на физико-механические свойства вулканизатов.

Эффективность действия различных соединений в качестве замедлителей преждевременной вулканизации зависит от состава

вулканизирующей группы, типа полимера. Вулканизационную активность ускорителей всех классов уменьшают органические кислоты, которые не только замедляют подвулканизацию, но и задерживают вулканизацию. Наибольшее распространение в качестве замедлителя подвулканизации кислотного характера получил фталевый ангидрид, который в отличие от других кислых органических продуктов достаточно хорошо диспергируется в резиновых смесях и незначительно влияет на скорость вулканизации.

Более эффективным, чем фталевый ангидрид, особенно в резиновых смесях, содержащих сульфенамидные ускорители вулканизации, является *N*-нитрозодифениламин. Эффект его действия объясняется дезактивирующим влиянием на радикальные процессы, протекающие при переработке резиновых смесей. При этом в присутствии *N*-нитрозодифениламина возможно выделение оксидов азота, что, в свою очередь, обуславливает получение пористых вулканизатов. Этот замедлитель вызывает окрашивание резиновых смесей и выцветает на поверхность резин, вследствие чего его применение ограничено.

Одним из наиболее эффективных замедлителей подвулканизации резиновых смесей, содержащих ускорители вулканизации классов тиазолов и сульфенамидов, является *N*-циклогексилтиофталимид, действие которого пропорционально его содержанию. Эффект его действия объясняется связыванием меркаптобензтиазола в смесях, что приводит к выведению последнего из процесса вулканизации. Одновременно в смеси образуется циклогексилдитиобензтиазол, являющийся эффективным ускорителем, обеспечивающим вулканизацию с индукционным периодом.

Для вулканизации каучуков, не содержащих двойных связей (силоксанового, фторкаучука, этиленпропиленового и др.), широкое применение получили органические оксиды, стабильные при температурах переработки полимеров (примерно до 100°C) и легко распадающиеся на радикалы при температурах вулканизации (130°C и выше).

Свободные радикалы, образующиеся при распаде пероксида, отрывают водород от макромолекул полимера. Образовавшиеся при этом полимерные радикалы взаимодействуют между собой с образованием C–C связей. При наличии в цепи полимера двойной связи пероксидный радикал присоединяется преимущественно к ней или отрывает *n*-метиленовый водород. Причем и в том, и в другом случае происходит образование макрорадикалов и последующее возникновение поперечных связей.

Ассортимент пероксидов для вулканизации каучуков постоянно расширяется. Наибольшее распространение получили пероксид дитретбутила, пероксид дикумила и пероксид бензоила.

Пероксид дитретбутила – бесцветная жидкость, взрывоопасна. Период полураспада при 160°C 22–25 мин. Температура вулканизации в ее присутствии 140–170°C. Существенным недостатком является высокая летучесть этого пероксида, что осложняет переработку резиновых смесей и не позволяет проводить вулканизацию без давления. Полученные вулканизаты практически не имеют неприятного запаха. Пероксид дитретбутила наиболее эффективен для вулканизации каучуков с небольшой непердельностью.

Пероксид дикумила – белый кристаллический продукт с температурой плавления 39–42°C. Для предотвращения комкования его обычно смешивают с карбонатом кальция или пластификатором. Период полураспада при 160°C 5–6 мин. Пероксид дикумила дает возможность перерабатывать резиновые смеси при температуре до 100°C. Температура вулканизации в его присутствии 135–260°C. Вулканизаты имеют неприятный запах. Применяются для вулканизации силоксановых, уретановых, этиленпропиленовых, фторкаучуков, а также непердельных полимеров.

Пероксид бензоила – белый кристаллический порошок с температурой плавления 104°C. Технический продукт обычно содержит около 50% разбавителя (обычно пластификатора). При переработке резиновых смесей пероксид вызывает опасность подвулканизации. Температура вулканизации в его присутствии 100–300°C. Применяется в основном при вулканизации силоксановых каучуков. Для быстрой вулканизации силоксановых каучуков в среде горячего воздуха без давления применяется пероксид 2,4-дихлорбензоила. Вулканизацию проводят при температуре 90–300°C.

Содержание пероксидов в резиновой смеси в зависимости от природы полимера и вида применяемого пероксида изменяется в широких пределах – от 0,5 до 10 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Все большее применение приобретают пероксиды, содержащие в молекуле по две пероксидные группы. Из них наиболее известны 2,5-диметил – 2,5-ди(третбутил)пероксигексан – Варокс 50 (торговое название) со временем полураспада при 115°C свыше 1000 мин, а при 150°C – 18 мин; а также 1,4- и 1,3-ди(α -третбутилпероксиизопропил)бензол – Пероксимон Г-40 (торговое название) со временем

полураспада при 150°C 60 мин. При использовании этих пероксидов практически исключается опасность подвулканизации при переработке, а в процессе вулканизации они не выделяют сильнопахнущих веществ.

Вулканизаты, полученные с применением пероксидов, имеют высокую теплостойкость к тепловому старению вследствие образования в процессе вулканизации термостойких С–С связей.

Наличие в резиновых смесях соединений кислого характера, а также акцепторов свободных радикалов (например, противостарителей и др.) замедляет вулканизацию пероксидами, а иногда и полностью подавляет ее.

Свободные радикалы, образующиеся при распаде пероксидов, относительно малоподвижны, и поэтому введение в вулканизуемые пероксидами резиновые смеси низкомолекулярных соединений, легко распадающихся на радикалы, способствует более эффективному использованию пероксидов. Такие соединения обычно называют соагентами пероксидной вулканизации.

Возможна вулканизация пероксидами совместно с небольшим количеством серы. В этом случае в вулканизатах кроме связей С–С образуются также моно-, ди- и полисульфидные связи, повышающие прочностные и эластические свойства резин, однако несколько снижающие стойкость к тепловому старению.

Более эффективными, чем сера, соагентами являются соединения, содержащие две и более двойные связи в молекуле. Применение таких соединений позволяет снизить температуру вулканизации и дозировки пероксидов, интенсифицировать процесс и получить вулканизаты с высокими физико-механическими показателями. Практическое применение нашли дивинилбензол, N, N'-(фенилен-1,3)бис-малеимид, а также различные олигоэфиракрилаты, аллильные производные триазинов и др.

Для вулканизации непредельных каучуков, а особенно каучуков с малой непредельностью (бутилкаучук, этиленпропиленовый каучук), используют различные фенолоформальдегидные смолы.

Важнейшим критерием, определяющим вулканизационную активность смол, является наличие в них метилольных и метиленэфирных групп, содержание которых должно быть не менее 3%. Механизм поперечного сшивания смолами сложный. При температуре вулканизации смолы могут распадаться на свободные радикалы, которые взаимодействуют с водородом α -метиленовой

группы или двойной связью. Большее значение имеет непосредственное присоединение смол к каучуку как по двойной связи с образованием хромановых структур и выделением воды, так и по месту отрыва водорода α -метиленовой группы, также с выделением воды.

Вулканизация смолами активируется хлоридами некоторых металлов ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) или хлорсодержащими полимерами (хлоропреновым каучуком, хлорсульфированным полиэтиленом) в присутствии оксидов металлов.

Возможно непосредственное галогенирование смол, которое приводит к повышению их вулканизационной активности.

Смолы представляют собой твердую хрупкую прозрачную массу, которую перед применением необходимо измельчать. Содержание смол в резиновых смесях составляет обычно 5–12 мас. ч. Температура вулканизации 140–180°C.

Вследствие образования в процессе вулканизации термостойких С–С и С–О–С поперечных связей резины, полученные с использованием смол в качестве вулканизирующих веществ, имеют высокую теплостойкость и стойкость к тепловому старению.

Смолы нашли широкое применение для вулканизации бутилкаучука, а также его смесей с этиленпропиленовым каучуком при производстве диафрагм и варочных камер.



ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Литье под давлением – самый распространенный способ получения изделий из полимерных материалов. Он применяется как в производстве небольших изделий, например шестеренок для часов, так и для изготовления изделий большого размера (мусорные баки, автомобильные бамперы). В большинстве случаев изготовленные по этой технологии изделия не требуют дополнительной обработки.

Литье под давлением включает в себя пластикацию гранулированного или порошкообразного материала (формовочной массы) и его перемещение под высоким давлением и на высокой скорости в формующую полость литьевой формы, где он затвердевает за счет охлаждения или «сшивки», что позволяет извлечь готовое изделие из формы. Все стадии изготовления полностью автоматизированы.

В технологии литья под давлением полимерное сырье обычно используется в виде гранулята или порошка. В зависимости от конструкции литьевой машины может осуществляться переработка термопластов, реактопластов и эластомеров.

Термопласты приобретают пластичность за счет нагрева и могут быть переработаны несколько раз. Они могут иметь естественный (натуральный) цвет, быть окрашены, армированы или содержать порообразователь. В структурном отношении различают аморфные и частично кристаллические термопласты.

Реактопласты и эластомеры также сшиваются под воздействием тепла, однако в отличие от термопластов повторному расплавлению не поддаются.

Пластмассовые изделия изготавливают на литьевых машинах. Пластицированный в литьевой машине полимерный материал впрыскивается в полость литьевой формы непосредственно через литниковый канал.

Литьевая машина состоит из трех наиболее важных узлов:

- 1) узел смыкания;
- 2) узел пластикации;
- 3) станина машины с системой привода и системой управления.

Полимерный материал в виде порошка или гранулята поступает в материальный цилиндр через загрузочный бункер. Далее за счет вращательного движения шнека формовочная масса подается к мундштуку. Формовочная масса пластицируется под воздействием тепла ленточных нагревателей и за счет трения. Дозировка – набор определенного количества пластицированного полимерного материала на участке цилиндра перед наконечником шнека. Давление накапливаемого расплава оттесняет шнек по оси назад в сторону загрузочного бункера. После создания требуемой дозы вращение шнека прекращается.

За счет осевого перемещения шнека в направлении мундштука расплав полимера впрыскивается в формующую полость литьевой формы. Во время впрыска шнек действует аналогично поршню.

Усилие, необходимое для удержания литьевой формы в закрытом состоянии, может быть создано механическим способом с помощью коленчато-рычажного или гидравлического механизма.

Станина служит для размещения на ней отдельных элементов конструкции литьевой машины и их надежного крепления.

Управление процессом осуществляется с помощью таймеров или электронных датчиков времени. Температура цилиндра, как правило, контролируется электронными датчиками.

Различное конструктивное исполнение литьевых машин отображено на рис. 3.1.

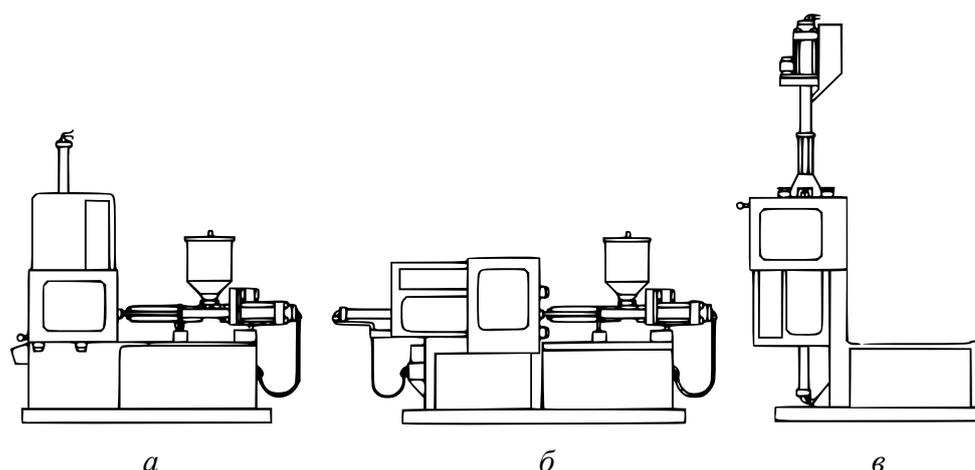


Рис. 3.1. Различное конструктивное исполнение литьевых машин:
а – горизонтальное размещение узла пластикации и вертикальное размещение узла смыкания; *б* – горизонтальное размещение узлов пластикации и смыкания; *в* – вертикальное размещение узлов пластикации и смыкания

При необходимости установки в форме металлических деталей целесообразно использовать литьевые машины с вертикальным узлом смыкания и горизонтальной плоскостью разъема.

Если необходим повторный узел пластикации, то используют машины, имеющие горизонтальный узел смыкания, который расположен перпендикулярно плоскости разъема. Для изделий, требующих длительных периодов выдержки, на рынке предлагаются ротационные литьевые машины с несколькими вращающимися на поворотном столе узлами смыкания.

Кроме того, существуют машины с несколькими узлами пластикации для многоцветного литья под давлением.

Важнейшим конструктивным элементом литьевой машины является узел пластикации.

В загрузочном бункере находится полимерный материал, подлежащий переработке; он должен быть сыпучим.

Материальный цилиндр состоит из толстостенной стальной трубы. Его температурный режим поддерживается кольцевыми нагревателями. При переработке реактопластов используется материальный цилиндр с двойной стенкой, поддержание температуры которого обеспечивается маслом. Применение электронных регуляторов позволяет удерживать температуру цилиндра в пределах определенного диапазона.

Назначение шнека состоит в подаче, пластикации и гомогенизации материала. Наиболее распространенный универсальный шнек для переработки основных видов термопластов представляет собой конструкцию, имеющую три зоны нарезки: загрузки, сжатия и дозирования. Как правило, длина шнека приводится как кратное его диаметру D . Длина современных универсальных шнеков составляет $20D$.

Мундштук представляет собой соединительное звено между передней частью материального цилиндра и литьевой формой.

Если при переработке термопластов нагрев материального цилиндра осуществляется с помощью электрических нагревателей, то при переработке реактопластов предпочтение отдается маслу. После того как циркулирующее масло будет нагрето нагревательными змеевиками до температуры, заданной на регуляторе, оно прокачивается насосом по соединительным шлангам через двойную стенку материального цилиндра. Таким образом, материальный цилиндр нагревается до определенной температуры, которая при переработке термореактивных масс имеет большее значение, чем при переработке

термопластичных полимеров. В особых случаях возникает необходимость нагрева шнека – это потребует дополнительного масляного контура с возможностью поддержания обособленного температурного режима.

Отсюда и возникает необходимость как охлаждения, так и нагрева литьевой формы. Для того чтобы добиться постоянной температуры поверхности изделия, необходимо иметь возможность ее контроля и регулировки. Если рассмотреть температурный режим литьевой формы в ходе цикла впрыска расплава полимера, то в момент впрыска наблюдается повышение ее температуры до максимального значения. В процессе охлаждения расплава температура поверхности литьевой формы снижается вплоть до момента извлечения изделия. Разность температур между моментами впрыска и извлечения значительна, и ее необходимо оптимально компенсировать с помощью термостатирующего устройства. Это означает, что колебания температур вокруг значения средней температуры литьевой формы должны удерживаться в пределах как можно более узкого диапазона. Для этого при конструировании литьевой формы необходимо принимать соответствующие меры, касающиеся размещения и определения параметров охлаждающих каналов.

Правильная сушка перерабатываемых полимеров способна избавить от брака и непредвиденных остановок производственного процесса. Влага, образующаяся внутри и на поверхности пластицируемых масс, испаряется из-за высоких температур переработки, и на поверхности готового изделия образуются полосы или пузыри. При использовании материалов, чувствительных к гидролизу, происходит еще и разрушение молекулярных цепей. Все это оказывает дополнительное влияние на механические свойства изделия, которое становится хрупким. Таким образом, перед началом процесса переработки возникает необходимость в сушке полимера. Для сушки пластмасс могут быть использованы следующие устройства:

- камерная сушилка с циркуляцией воздуха;
- сушилка с интенсивной циркуляцией свежего воздуха;
- сушилка с сухим воздухом;
- вакуумная сушилка.

Литьевая форма в основном состоит из неподвижной и подвижной частей, литниковой втулки, литниковой системы, выталкивающего устройства и охлаждающей системы.

Стандартная конструкция литейной формы выполняет четыре основные функции:

- прием расплава полимера;
- формование изделия;
- охлаждение;
- выталкивание изделия.

Расплав полимера, поступающий через канал или систему каналов из мундштука узла пластикации, перемещается в формирующую полость литейной формы. Как система каналов, так и затвердевающая в нем масса получили название литника или литниковой системы. Литниковая система в основном состоит из центрального литникового стержня или конического литникового канала, разводящих и впускных литников (рис. 3.2).

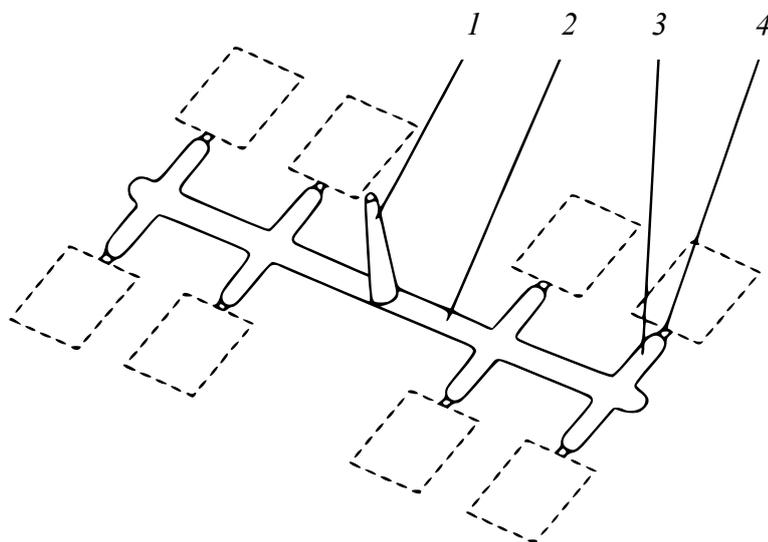


Рис. 3.2 Литниковая система:
 1 – центральный литниковый стержень
 (конический литниковый канал);
 2, 3 – разводящие литники; 4 – впускной литник

Масса, протекающая при входе в литейную форму, контактирует с холодной внешней стенкой, охлаждается и застывает. Проходящий по центру литникового канала расплав получил название «пластичной сердцевинки»; за счет изолирующего воздействия внешнего застывшего слоя он защищается от затвердевания и застывает позднее.

Наиболее простую форму имеет конический или стержневой литник. В этом случае конический литниковый канал наибольшим поперечным сечением входит в формирующее гнездо литейной формы.



ЭКСТРУЗИЯ – МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Экструзия – это изготовление из гранулированного, порошкообразного или зернистого полимера бесконечного формованного профилированного изделия.

В экструзионной установке наиболее значимым элементом является сам экструдер, называемый также шнековым прессом.

Принцип работы экструдера состоит в том, что в нагреваемом материальном цилиндре вращается шнек, который уплотняет, расплавляет и гомогенизирует полимерную массу, а затем выдавливает ее сквозь выходное отверстие формующей головки. Сам по себе экструдер еще не является машиной для переработки полимеров, а представляет собой лишь пластицирующее устройство.

Экструдер, укомплектованный формующей головкой, устройствами калибровки, охлаждения, отвода и намотки – это технологическая установка для переработки полимеров (рис. 4.1).

Наряду с одношнековыми машинами также используются и многошнековые экструдеры.

Из многошнековых машин для переработки порошкообразных полимеров особое значение приобрел двухшнековый экструдер.

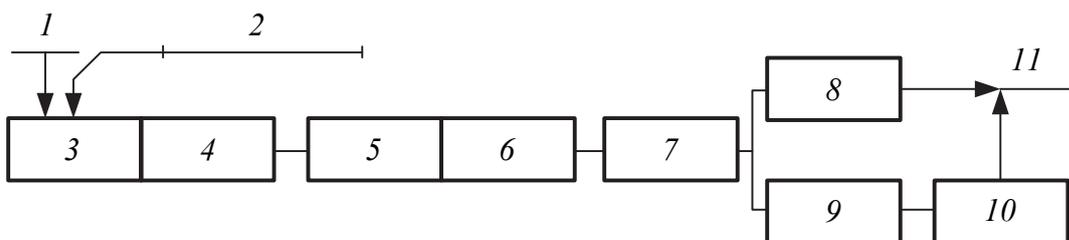


Рис. 4.1. Схема экструзионной линии:

1 – источник энергии; 2 – полимерное сырье; 3 – экструдер; 4 – формующая головка; 5 – калибровка; 6 – охлаждение; 7 – тянущее устройство; 8 – намотка; 9 – сепаратор; 10 – приемное устройство; 11 – экструдат

Экструзии поддаются все термопласты. Единственное ограничивающее условие – все подлежащие переработке полимеры в состоянии плавления должны обладать высокой степенью вязкости. Это необходимо для того, чтобы выходящий из формующей головки

расплав не растекался, а сохранял на короткое время приданную ему форму. Высокая вязкость расплава достигается либо высокой степенью полимеризации, либо введением в полимер определенных добавок.

В последнее время к монолитным экструдруемым смесям добавились экструдаты со вспененной текстурой, которые получили особое распространение при изготовлении профилей. Вспененная текстура образуется в результате добавления химического вспенивающего агента, например азодикарбонамида, который разлагается при температуре переработки.

4.1. Конструкция экструдера

Одношнековый экструдер. Одношнековый экструдер состоит из материального цилиндра 2 с размещенным в нем шнеком 1, электродвигателем 6, загрузочного бункера 4 и редуктора 5 (рис. 4.2).

На цилиндре устанавливается несколько кольцевых нагревателей 3 (от 4 до 6), каждый из которых регулируется индивидуально. Как правило, в каждой зоне нагрева смонтировано охлаждающее устройство, что повышает точность регулировки температуры. Для предотвращения преждевременного оплавления полимерной массы зона цилиндра, находящаяся в непосредственной близости от загрузочного отверстия, в процессе работы экструдера постоянно охлаждается.

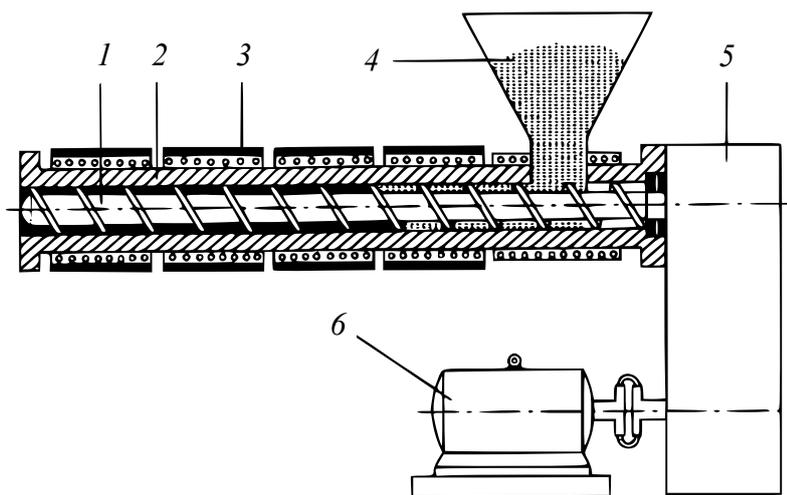


Рис. 4.2. Схематическое изображение экструдера:
1 – шнек; 2 – материалый цилиндр; 3 – нагреватели;
4 – загрузочный бункер; 5 – редуктор; 6 – двигатель

В вопросе конструктивного исполнения особое внимание следует уделить наиболее важной части экструдера, а именно шнеку. Опыт показывает, что лишь некоторые типы шнеков зарекомендовали себя с положительной стороны. К ним относятся, например, трехзонный шнек и шнек с уменьшающимся шагом и постоянной глубиной нарезки (рис. 4.3).

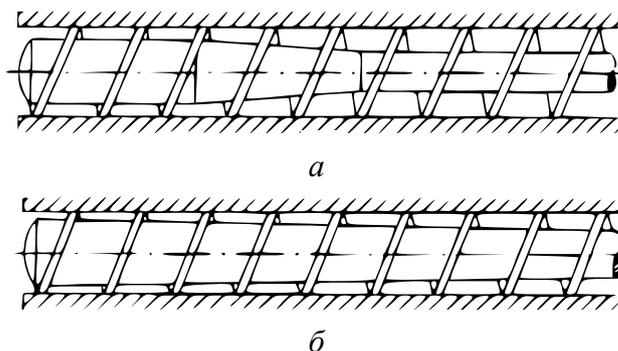


Рис. 4.3. Типы шнеков:
a – ступенчатый шнек; *б* – шнек с постоянным шагом и переменной резьбой

При этом следует отметить, что основные элементы шнеков одинаковы, а их различия состоят в деталях. Внешне любой шнек состоит из сердечника, который как бы обвивается относительно узким пояском с закругленными боковыми поверхностями. Углубления называются витками шнека. Важными параметрами, характеризующими работу шнека, являются следующие (рис. 4.4):

- длина (L) и диаметр (D), а также отношение длины к диаметру (L/D);
- глубина нарезки в начале и конце шнека (h_1 и h_2);
- длины отрезков с различной глубиной нарезки (L_1, L_2, L_3);
- ширина гребня (e);
- шаг витка (t);
- угол винтовой нарезки (φ).

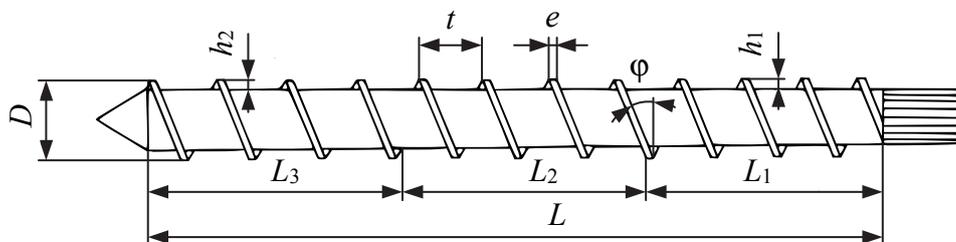


Рис. 4.4. Устройство шнека

Эксплуатация экструдера подразумевает использование двигателя. Как правило, применяются электродвигатели, параметры которых должны быть рассчитаны в соответствии с основной задачей.

С двигателем соединен редуктор. Его задача заключается в снижении числа оборотов двигателя до числа оборотов шнека, составляющих от 25 до максимально 200 об./в мин. На выходном валу редуктора устанавливается соединительная муфта.

Нагрев и охлаждение. Для расплавления полимерной массы цилиндр шнека нуждается в дополнительном нагреве.

4.1.1. Технологические процессы в экструдере

Назначение экструдера состоит в перемещении, уплотнении, пластикации и гомогенизации полимерной массы, направляемой в формующую головку.

Все эти технологические процессы происходят внутри материального цилиндра. Именно поэтому шнек разделен на несколько зон (рис. 4.5). Разделение шнека на зоны зависит от ставящихся перед экструдером задач.

Перемещение полимера. В одношнековом экструдере движение материала в зоне питания происходит за счет сил трения между полимерной массой, стенкой цилиндра и шнеком.

В этом случае действительна следующая формулировка: чем меньше коэффициент трения между шнеком и полимером и чем выше коэффициент трения между стенкой материального цилиндра и полимером, тем лучше проходит процесс движения материала.



Рис. 4.5. Разделение шнека на зоны

Уплотнение полимера. Пустоты между частицами сыпучего продукта (гранулят, порошок) заняты воздухом. Перед полным расплавлением полимера этот воздух необходимо выдавить или отсосать.

Этого можно добиться постоянным уменьшением глубины нарезки при ее неизменном шаге (шнек с уменьшающейся глубиной канала).

Другой способ отвода воздуха и летучих веществ, образующихся в процессе расплавления полимеров, состоит в их отсосе через специальные отверстия в цилиндре.

Расплавление полимера. Процесс расплавления полимерной массы также начинается со сжатия. За счет соприкосновения с горячей стенкой цилиндра и вследствие трения о шнек и материальный цилиндр полимер нагревается до тех пор, пока не начинают плавиться отдельные его частицы. Передняя стенка канала шнека постоянно соскабливает расплав полимера со стенки цилиндра.

Перед толкающей стенкой канала образуется скопление расплавленной фракции, которая захватывает и увлекает за собой нерасплавленные частицы. При этом происходит постоянный теплообмен, который совершается до тех пор, пока в одном витке шнека не будет расплавлен весь материал.

Гомогенизация расплава. После расплавления следует гомогенизировать (тщательно перемешать) расплав. Это необходимо как для равномерного распределения добавок, так и для тождественности температур. После завершения процесса расплавления температура граничных слоев расплава у цилиндра и шнека гораздо выше, чем температура массы в середине канала.

Перемешивание достигается за счет сложных движений потока, происходящих в канале шнека в зоне гомогенизации.

В следующей зоне смешения происходит значительное усиление гомогенизации. Сам процесс смешения осуществляется за счет разделения и последующего объединения потока с помощью многочисленных кулачков, размещенных на шнеке.

4.1.2. Экструзионные головки

Головка – это формообразующий инструмент. Она устанавливается на конце материального цилиндра и сконструирована таким образом, чтобы расплав полимера принимал желаемую форму сечения.

При этом необходимо следить за тем, чтобы проточный канал (от входной зоны потока до прямолинейного участка) по возможности плавно переходил к форме сечения изготавливаемого изделия. Это позволяет расплаву выходить из головки с одинаковой скоростью, а не оставаться в застойных участках (разложение полимерной массы).

Головка разделена на три части:

- входная зона;
- переходный участок или участок распределения расплава;
- прямолинейная направляющая зона.

В первой зоне расплав переходит от круглого сечения цилиндра к сечению канала, который приблизительно повторяет внешние контуры профиля. На переходном участке расплаву придается форма профиля.

4.2. Изготовление полимерных пленок

Важнейшим достоинством полимеров является их способность к пленкообразованию.

К *полимерным пленкам* относят листовой или рулонный материал, т. е. сплошные слои полимеров толщиной до 0,2–0,3 мм и шириной более 100 мм. Узкие пленки называют лентами. Такое определение является достаточно формальным. Практически термин «пленки» установился для тонких листовых материалов такой толщины, при которой сохраняется их гибкость. Пленки характеризуются малой толщиной (и, следовательно, малой массой) при большой поверхности.

Способность полимеров к пленкообразованию – специфическое отличие полимеров от низкомолекулярных веществ. Эта характерная особенность полимеров как материи обусловлена строением из молекул, а именно чрезвычайно большой их длиной, в тысячи раз превышающей поперечный размер. Анизотропией формы и гибкостью макромолекул полимеров обуславливается возможность возникновения в процессе пленкообразования разнообразных структурных образований, предопределяющих комплекс физико-механических свойств пленок.

Основные виды полимерных пленок. Полимерные пленки производят из природных, искусственных и синтетических полимеров. Природные пленки изготавливаются из белков, натурального каучука, целлюлозы и некоторых других природных полимеров, наибольшее распространение в этой группе получили гидратцеллюлозные пленки, среди которых широко используется целлофан для упаковки.

Искусственные пленки изготавливаются из искусственных полимеров – продуктов химической модификации природных полимеров.

Это пленки, полученные на основе простых и сложных эфиров целлюлозы: ацетата целлюлозы, ацетобутирата целлюлозы, ацетопропионата целлюлозы, нитрата целлюлозы и этилцеллюлозы. К этой группе относятся и пленки из натурального или синтетического изопренового каучука, предварительно подвергнутого гидрохлорированию (гидрохлоридкаучуковые пленки).

Пленки на основе синтетических полимеров составляют самую обширную группу, и подавляющее их большинство – пленки на основе термопластов.

Основные способы производства полимерных пленок. От способа производства полимерных пленок зависят многие их свойства, в особенности физико-механические, технологические, а также экономические показатели. Как правило, для каждого полимера оптимальным и наиболее часто применяемым на практике является какой-либо один метод получения пленки, но в ряде случаев встречаются и различные методы. Более того, и в одинаковых методах получения пленки могут быть использованы различные дополнительные операции, оснащение и приспособления в зависимости от свойств полимера и специфических особенностей назначения продукции.

Существуют следующие промышленные методы изготовления полимерных пленок: экструзия расплава полимера, полив раствора полимера или олигомера на полированную металлическую или другую поверхность (в некоторых случаях раствор полимера подают в осадительную ванну), полив дисперсий полимера на полированную поверхность, каландрирование, прессование, строгание заготовок.

4.2.1. Изготовление рукавной пленки

Преимущества рукавного метода производства пленок состоят в универсальности и простоте регулирования как размеров, так и свойств, в отсутствии отходов, возможности выпуска пленок с термосадочными свойствами и т. п.

Технологическая схема производства. Схема агрегата представлена на рис. 4.6. Подсушенные гранулы пневмотранспортом подаются в бункер 1 экструдера 2. Под действием силы тяжести гранулы продвигаются вниз и заполняют межвитковое пространство шнека в зоне I (рис. 4.5). Вращающийся шнек продвигает полимер вдоль цилиндра во вторую и третью зоны и в формирующую кольцевую, угловую головку. В головке расплав рассекается дорном и, выходя, принимает форму цилиндра. Для придания ему

формоустойчивости экструдат охлаждается снаружи воздухом, поступающим из щели полого кольца 4. Момент затвердевания расплава (а для кристаллизующегося полимера – кристаллизация) фиксируется появлением характерной границы помутнения рукава, так называемой линии кристаллизации 5. До этой линии экструдат – рукав – растягивается по длине тянущими валками 7 и раздувается воздухом, находящимся внутри рукава по диаметру. Для начала раздувания рукава в дорне головки имеется специальный канал для воздуха 12, который соединен с воздуходувкой.

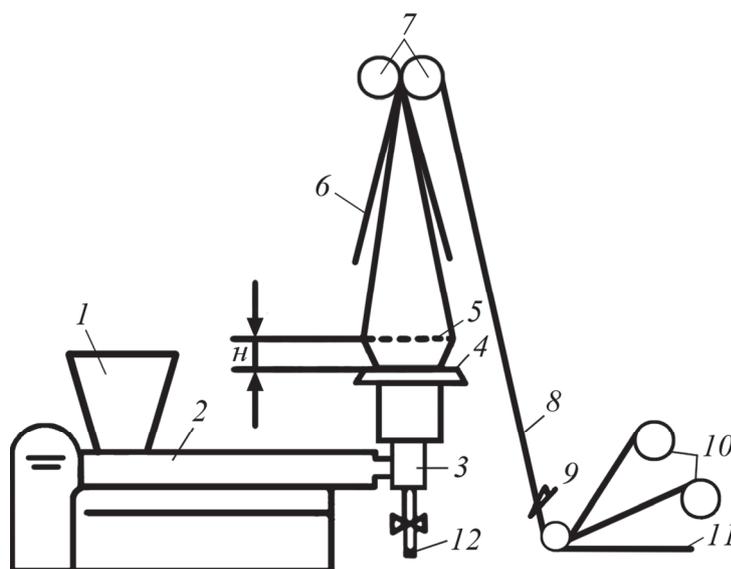


Рис. 4.6. Технологическая схема агрегата для получения рукавной пленки:

- 1 – бункер; 2 – экструдер; 3 – кольцевая угловая головка;
- 4 – полое кольцо для воздушного охлаждения рукава пленки;
- 5 – линия кристаллизации; 6 – складывающие щеки;
- 7 – прижимные тянущие валки; 8 – пленка;
- 9 – ножи для обрезки кромок; 10 – намоточное устройство;
- 11 – кромки, отрезанные от пленки; 12 – патрубок подачи сжатого воздуха для раздува рукава

Внутри рукава воздух подается периодически по мере его диффузии через пленку и утечки через неплотности слоев пленки между тянущими валками. Вытянутая в двух либо в одном направлении пленка после линии кристаллизации продолжает охлаждаться воздухом окружающей среды, а затем постепенно складываться расходящимися под некоторым углом складывающимися щеками 6. Движение пленки и ее вытяжка осуществляются обрезиненной, плотно

прижатой к пленке парой валков 7. Далее рукав в сложенном виде может либо разрезаться по бокам ножами 9 и наматываться в две бобины 10 одинарным слоем, либо не разрезаться и наматываться двойным слоем на одну бобину. Отрезанные две кромки 11 поступают на переработку в гранулятор и вновь добавляются в первичный полимерный материал.

Основное оборудование. При производстве пленок используются экструзионные установки с длинными шнеками для устранения пульсации расплава. Применяются экструдеры с $L/D = 20,25$ с D от 20 до 90 мм (иногда до 120 мм). Пленки получают после вытяжки и раздува толщиной от 10 до 300 мкм с колебанием толщины $\pm 10\%$.

Современные установки оснащены аппаратурой, обеспечивающей:

- контроль и автоматическое регулирование температур по зонам;
- контроль давления расплава до и после сеток;
- контроль толщины экструдата, формирующего зазора, толщины пленки;
- бесступенчатое регулирование частоты вращения шнека;
- контроль за потребляемой мощностью экструдера;
- бесступенчатое, плавное изменение скорости приемно-тянущих валков;
- автоматическую подкачку воздуха внутрь рукава для постоянства его раздува.

Желательно иметь установку для обеспечения циркуляции воздуха, сам воздух должен быть осушен и охлажден. Экструзионные агрегаты должны быть оснащены контрольно-управляющими приборами для поддержания постоянства диаметра раздуваемого рукава; устройствами для снятия статического электричества с разрезаемого и наматываемого пленочного полотна.

Для точного регулирования щелевого кольцевого зазора применяют микровинты, управляемые автоматизированными системами контроля толщины пленки. Для интенсификации процесса охлаждения пленки выше линии кристаллизации применяют дополнительные обдувочные кольца или ряд вентиляторов с индивидуально регулируемыми частотами вращения двигателя, а также складывающиеся пленку щеки с полостями для циркуляции охлаждающей воды.

Для получения пленок с постоянным диаметром рукава с целью интенсификации процесса производства используют охлаждаемые водой металлические насадки.

При контакте горячей пленки с холодной поверхностью насадки пленка быстро охлаждается, после чего она сразу складывается и наматывается.

Для разрезания рукава в продольном направлении при получении широкого однослойного полотна применяют нож, разрезающий рукав только с одной стороны (бескромочный способ). Специальное устройство разворачивает рукав и сматывает его в один рулон. В этом случае плоская пленка имеет двойную ширину.

Для дополнительной ориентации макромолекул на стадии получения экструдата применяют головку с вращающимся дорном, что создает потоки полимерного расплава на внутренней стороне рукава, имеющего благодаря этому ориентацию молекул в радиальном направлении (по спирали с учетом скорости выхода рукава из щели).

Раздув, вытяжка и охлаждение заготовки-рукава. Выходящая под небольшим давлением с определенной скоростью экструзионная трубчатая заготовка подвергается охлаждению воздухом через кольцо 4 и в большинстве случаев вытягивается по длине тянущими валками и раздувается по ширине воздухом, подаваемым внутрь рукава. Поэтому рукав должен обладать максимальной деформационной способностью, которая достигается за счет применения расплава с меньшим ПТР.

Процесс деформирования рукава происходит в интервале между головкой и линией затвердевания, а охлаждение продолжается вплоть до сжатия пленки тянущими валками. Таким образом, до линии кристаллизации происходит:

- разбухание (увеличение толщины) экструдата относительно размера кольцевого зазора головки;
- растяжение и/или раздув трубчатой заготовки;
- охлаждение расплава;
- кристаллизация (для кристаллизующихся полимеров).

Эластическое разбухание экструдата происходит в результате реализации накопленной высокоэластической деформации полимерного расплава. Высокоэластическая деформация расплава образуется при прохождении его в формирующих каналах головки, а ее величина тем больше, чем выше напряжение сдвига.

Вытяжка и раздув рукава приводят к утончению заготовки и к ориентации цепей макромолекул в пленке (упрочнению).

Охлаждение и кристаллизация полимерного рукава необходимы для регулирования скорости ориентации и кристаллизации до линии

кристаллизации, а выше ее – для охлаждения твердой пленки до температур, при которых полотно не будет повреждаться и слипаться, проходя между складывающимися щеками и далее в зазор между тянущими валками. Время охлаждения пленки лимитирует скорость ее отбора, т. е. производительность экструдера. Для увеличения интенсивности охлаждения при тех же габаритах установки и здания можно применять дополнительные вентиляторы, воздуходувки, охлажденный воздух и т. п.

Охлаждение рукава – обычный процесс передачи тепла от горячей поверхности к окружающей среде. С учетом силы сжатия рукава при более высоких температурах будет происходить слипание рукава.

4.2.2. Изготовление плоских пленок и листов

Технология изготовления плоских пленок и листов из термопластов заключается в непрерывной экструзии расплава полимера через широкую плоскую щель формующей головки с последующим охлаждением плоского полотна либо на поверхности вращающихся валов, либо в охлаждающей ванне. Между пленками и листами четкой границы нет. Принято считать, что заготовка толщиной менее 0,5–1 мм – пленка, выше 0,5–1 мм – лист. Различия процессов получения пленок и листов начинаются к моменту охлаждения получаемой экструзионной заготовки.

Технологическая схема производства. Получение плоских пленок осуществляют подачей расплава плоского экструдата либо на поверхность охлаждающего барабана, либо в холодную проточную воду. Толстые пленки и листы производят в основном первым способом. Известно, что плоские листы и пленки могут быть получены и на каландрах. Однако экструзионный способ подготовки листового или пленочного расплава имеет ряд несомненных преимуществ:

- большую производительность;
- лучшее качество листа или пленки за счет меньшей термоокислительной деструкции;
- меньшую трудоемкость и большую безвредность процесса.

Сочетание процесса подготовки экструдата (заготовка на экструдере с калибровкой) с охлаждением его на каландре дает несомненное преимущество по всем перечисленным выше позициям перед чисто каландровым способом получения.

Для получения тонких аморфных пленок из кристаллизующихся полимеров применяют охлаждение экструдата в холодной воде

различной температуры. Основной схемой является экструзионная машина, оснащенная плоскощелевой головкой. Продавливаемый расплав попадает в воду охлаждающей ванны. Расстояние, которое проходит экструдат от головки до уровня воды, колеблется в пределах от 5 до 15 мм. Далее охлаждаемая пленка продвигается в воде и через направляющий валок тянущими роликками подается под боковые ножи для обрезки кромок; другой парой тянущих роликков пленка подается на намотку в рулон.

Листы получают (рис. 4.7) с помощью двух основных агрегатов: экструдера 1 с плоскощелевой головкой 2 и валкового агрегата 3, 4 типа каландра (трех- или четырехвалкового).

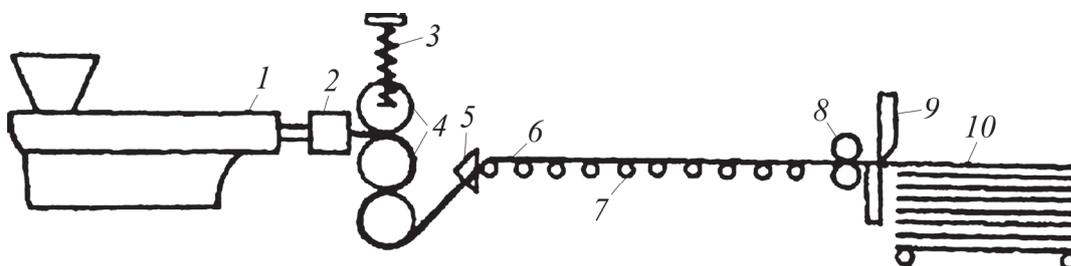


Рис. 4.7. Технологическая схема агрегата для получения листов:

- 1 – экструдер; 2 – листовальная головка;
- 3 – механизм для регулирования зазора между валками;
- 4 – гладильно-калибровочные валки каландра;
- 5 – ножи для обрезки кромок; 6 – лист; 7 – рольганг;
- 8 – тянущее устройство; 9 – гильотинный нож;
- 10 – штабель листов на транспортной тележке

Экструзионная заготовка – полуфабрикат, проходя через фиксированный зазор, калибруется по толщине и полируется по двум поверхностям валками каландра. В горячем состоянии у листа обрезаются кромки двумя ножами 5. Теплый лист 6 далее поступает на рольганг 7, где происходит его окончательное охлаждение. Движение листа после каландра осуществляется тянущим устройством 8, после которого он обрубается по ширине ножом типа гильотины 9. Листы нужной длины складываются на транспортную тележку 10.

Основное оборудование, применяемое для получения плоских пленок – экструдеры с типичным отношением $L / D = 25,35$, а листов – 10,25. Причина применения длинношнековых экструдеров та же, что и для рукавных пленок: уменьшение пульсации расплава. Короткошнековые экструдеры более дешевы, и для получения листа-заготовки допускается определенное колебание. Последнее

незначительно влияет на качество готовых листов, так как после экструдера заготовка проходит окончательное калибрование по толщине в регулируемых зазорах между валками каландра.

Формующие головки, используемые для получения листов и пленок, имеют широкую щель ($w = 1600$ мм, иногда и больше). Различаются они по конструкции, связанной с выбором направления течения расплава. Используют *T*-образные, аксиальные и прямые головки. Основное требование к головкам – создание потоков растекающегося расплава с постоянной объемной скоростью выхода из формующей щели головки. В таких головках не должно быть мертвых зон.

Технологические режимы получения листов и плоских пленок. Основные технологические режимы экструзии плоских пленок те же, что и для рукавных. Специфика процесса состоит в последующих стадиях – охлаждение и образование соответствующей надмолекулярной структуры.

При получении пленок с аморфизированной структурой применяется охлаждение расплава в ледяной воде или на поверхности холодного барабана. При получении толстых пленок поверхность барабана может иметь большую температуру либо даже дополнительный прогрев. Это необходимо для снижения остаточных напряжений, возникающих при резком охлаждении расплава. Окончательное охлаждение толстых пленок происходит на воздухе на пути их следования от приемного валкового оборудования до намоточного устройства.

Расстояние между поверхностью головки и поверхностью приемного барабана или зеркала воды должно быть минимальным для предотвращения самопроизвольного растяжения пленок и сужения расплавленной ленты.

Режимы калибровки и полировки. Верхний и (под ним) нижний валок каландра являются калибрующими, т. е. разнотолщинная экструзионная листовая заготовка, проходя в строго фиксированный зазор между валками, выходит из него, имея одинаковую толщину. Окончательное охлаждение листа происходит на рольганге. В зависимости от толщины листа длина рольганга колеблется от 3 до 15 м. На рольганге наряду с охлаждением происходит и усадка листа по длине. Для листов и пленок этот эффект нежелателен, так как затрудняет дальнейшую их переработку в изделие, например методом вакуумного формования.

Скорость движения листа, определяющая производительность агрегата, зависит от скорости охлаждения первого, т. е. в основном от его толщины. Так, для пленки толщиной 0,3–0,7 мм скорость выхода 15 м/мин, для листа толщиной 2,3 мм скорость выхода 1,8–1,5 м/мин.

4.2.3. Изготовление труб, шлангов, профилей

Технологическая схема производства. Процесс получения гладких, перфорированных, армированных, гофрированных труб, шлангов, изоляции кабелей и профилей имеет множество общих стадий технологической схемы. Основными и общими элементами схемы являются:

- формирование исходной заготовки методом экструзии расплава через головку соответствующего профиля;
- калибровка (для изделий с большой размерной точностью);
- одно- и двухстадийное охлаждение готового изделия;
- соответствующее профилю тянущее устройство.

Наиболее ответственным видом изделий такого рода являются трубы, так как они предназначены для работы под давлением, под осевым нагружением; кроме того, геометрические размеры труб должны довольно точно соответствовать техническим требованиям.

Трубы по большей части изготавливают из полиэтилена (70%) и поливинилхлорида (30%) как жесткого, так и пластифицированного. Наиболее простая схема получения гладких труб среднего диаметра показана на рис. 4.8.

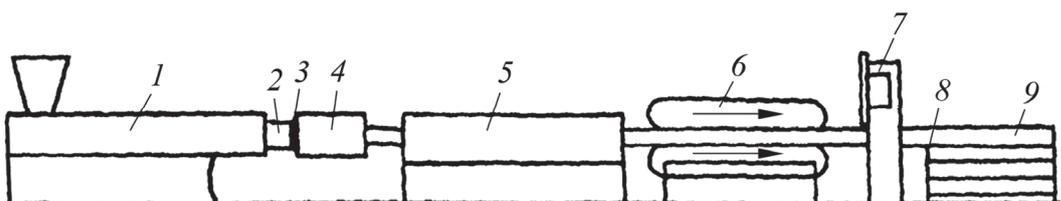


Рис. 4.8. Технологическая схема агрегата для получения труб:

- 1 – экструдер; 2 – прямоточная кольцевая (трубная) головка;
 3 – термоизоляционное кольцо; 4 – калибрующе-охлаждающее устройство;
 5 – ванна с водой; 6 – тянущее устройство; 7 – циркуляционная пила
 (либо барабан для намотки); 8 – приемное устройство; 9 – труба

Гранулы полимера пневмозагрузчиком направляются в бункер и далее в экструдер 1. Расплав продавливается в прямоточную кольцевую головку 2, к которой примыкает теплоизолирующая кольцевая

штука 3. К головке через втулку соосно с дорном головки крепится калибрующее устройство 4, где и происходит деформирование экструзионной заготовки до необходимых размеров либо по внутреннему, либо по внешнему диаметру. Здесь же труба частично охлаждается и приобретает достаточную формоустойчивость и прочность. Частично охлажденная и калиброванная труба далее поступает в ванну 5, где окончательно охлаждается проточной водой, после чего проходит через счетно-маркирующее устройство. Все движение экструдата и трубы после головки осуществляется тянущим устройством 6, захватывающие элементы которого соответствуют профилю гладкой или гофрированной трубы. Трубы большого диаметра и толстые профили после тянущего устройства режутся циркуляционной пилой 7 или рубятся, а трубы диаметра меньшего чем 50 мм и шланги наматываются на барабан. Готовые изделия складываются на тележку 8 или заполненный барабан и транспортируются на склад.

4.2.4. Метод пневмовакуум-формования

Пневмовакуум-формование – это процесс формования изделий из заготовок в виде пленки или листа, нагретых до температур, при которых осуществляется высокоэластическая деформация полимера.

Формование из листов термопластов – один из самых старых методов изготовления изделий из пластмасс, он относится к концу прошлого столетия. Игрушки из целлулоида были получены методом выдувания заготовки. С применением вакуум-формования, появлением новых типов термопластов этот метод довольно широко распространился в промышленности. В настоящее время известны четыре основных метода формования изделий из листов и более двух десятков их разновидностей.

В процессе формования нагретая заготовка прижимается к поверхности формы под действием разрежения (вакуума) и избыточного внешнего давления. Толстые заготовки для облегчения формования могут дополнительно прижиматься к поверхности формы с помощью механического давления пуансона. Тонкие, легко деформируемые заготовки формуются либо с применением только вакуума (*вакуум-формование*), либо только с помощью давления воздуха (*пневмоформование*).

Преимущество пневмоформования перед вакуум-формованием заключается в возможности использовать высокое давление формования (от 0,15 до 2,5 МПа), что позволяет получать изделия с более

толстыми стенками, крупногабаритные детали. Изделия получают с небольшой разнотолщинностью, имеют четкий контур, точные размеры.

При вакуумном формовании давление составляет от 0,06 до 0,085 МПа, такого разрежения достаточно для хорошего оформления изделия толщиной до 5 мм.

Материалы, ассортимент изделий. Лист, пленка из термопластов, применяемые для получения изделий методом пневмовакуум-формования, должны иметь достаточную прочность и вязкость в широком интервале температур, не деформироваться под действием собственного веса. Они должны обладать высокой термостойкостью, стойкостью к погодным условиям, действию воды, щелочей, масел, кислот. Лист должен иметь такое сопротивление деформированию, чтобы при прогреве в формовочной машине он не провисал, имел блестящую поверхность, не отличался анизотропией свойств. Наибольшее распространение получили листы крупнотоннажных полимеров: стирольных пластиков (ударопрочный полистирол, сополимеры акрилонитрила и бутадиена со стиролом); полиметилметакрилата; поливинилхлорида и его сополимеров; полиолефинов, полиамида, полиакрилата, полиэтилентерефталата.

Методом пневмовакуум-формования листов получают различные объемные изделия: коробки, посуду, емкости и т. п.

В частности, из ударопрочного полистирола получают детали для холодильников, мебели, облицовки, поделок; из сополимеров стирола, имеющих высокую ударную вязкость, изготавливают дверцы, панели для самолетов; из двухосноориентированной полистирольной пленки изготавливают неглубокие прозрачные пакеты; из вспененной пленки – посуду для холодных напитков, мороженого, бутербродов; из полиметилметакрилата – сигнальные фонари реклам, арматуру для ламп; из ориентированных листов – остекление для самолетов и вертолетов; из поливинилхлорида – неглубокие изделия: рельефные карты, скатерти, маленькие пакеты; из полиолефинов – посуду, игрушки, упаковку для пищи; из полиамида – материал для упаковки жирных пищевых продуктов.

Основное оборудование и оснастка. Основным оборудованием является пневмовакуум-формовочная машина.

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 делятся на ленточные, барабанные, карусельные.

Машины бывают с ручным, полуавтоматическим и автоматическим управлением.

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

Нагревание заготовок осуществляется в основном путем вторичного прогрева в самой машине. Нагреватели ИК-излучения бывают двух типов: ленточные и стержневые.

Закрепление листа осуществляется прижимной рамой по периметру. Рама имеет универсальную конструкцию: она регулируется в зависимости от толщины листа, равномерно распределяет нагрузку по всей длине прижима.

4.2.5. Выдувное формование

Для производства полых изделий, формируемых на внутренней поверхности формы, применяют следующие способы выдувного формования:

- 1) выдавливание трубчатой заготовки на экструдере и ее раздувание сжатым воздухом;
- 2) формование заготовки в литьевой форме и последующее раздувание заготовки в выдувной форме на литьевой машине;
- 3) экструзия трубчатой заготовки и отливка горловины изделия, соединение горловины с заготовкой и ее раздувание;
- 4) нагрев предварительно экструдированной трубчатой заготовки и ее раздувание;
- 5) получение трубчатой заготовки путем сварки краев листа с последующим нагреванием и раздуванием и т. д.

Из всех перечисленных способов наибольшее распространение получил экструзионно-выдувной.

Основное оборудование – это агрегат, состоящий из экструзионной машины, угловой кольцевой головки, формы, механизма смыкания и размыкания формы, пневмосистемы для раздувания заготовки.

Основные процессы, происходящие на стадии выдачи заготовки, те же, что и при экструзии термопластов. Особенность заключается в том, что выходящая из головки заготовка находится в воздухе и

остывание ее передней части больше, чем части, оформляющей горловину изделия. Поэтому условия раздува заготовки по ее длине различны. Поскольку заготовка подается вниз из головки, то вся масса полимера висит на горячей части расплава. Последнее может приводить к самопроизвольному удлинению верхней части заготовки, ее утонению и даже обрыву. В связи с этим необходимо, чтобы вязкость выдавливаемой заготовки была предельно высока для придания достаточной прочности расплаву.

Последнее достигается либо снижением температуры расплава, либо экструзией полимеров с большими молекулярными массами (низкий ПТР).

4.2.6. Ротационное формование

Ротационное формование – метод изготовления полых изделий из порошков или паст термопластов. Метод состоит в том, что определенное количество термопластичного материала загружают в полую металлическую форму, которую закрывают и приводят во вращение в одной или двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Форму нагревают до плавления полимера. При вращении материал должен равномерно распределяться по внутренней стороне формы, уплотняться и образовывать монолитное покрытие определенной толщины. После остывания форма раскрывается и готовое изделие извлекается.

Ротационное формование имеет некоторые преимущества перед другими методами изготовления полых изделий:

- 1) простота изготовления крупногабаритных конструкций;
- 2) меньшая разнотолщинность изделий;
- 3) практическое отсутствие отходов полимера;
- 4) небольшой уровень остаточных напряжений в изделии;
- 5) низкая стоимость оборудования и оснастки;
- 6) экономичность процесса.

Основные недостатки метода:

- 1) большая длительность цикла формования;
- 2) плотность материала изделий меньше, чем тех же изделий, получаемых иным способом;
- 3) небольшая точность изготовления изделий.

Ротационным формованием можно получать крупно- и мелкогабаритные изделия: детали приборов, игрушки, манекены, поплавки, канистры, а также трубы и баки большого диаметра объемом до

50 000 л и с толщиной стенки до 16 мм. Этим способом получают изделия из пенопластов и сосуда с пластмассовым покрытием внутренних стенок.

Ротационное формование проводится на установках непрерывного или периодического действия. Выбор оборудования определяется размером, конфигурацией изделия, серийностью производства. Применяются машины карусельного типа. Установка состоит из стола, на котором смыкаются и размыкаются формы, извлекаются изделия; печи; охлаждающей камеры. Основа – подвижная часть – состоит из карусели со шпинделями. Формы могут вращаться в одной или в двух плоскостях. Число форм бывает от 1 до 48 шт. Формы изготавливаются из литого алюминия, мягкой стали. Крупногабаритные изделия формуются в сварных формах из листовой стали. Формы обогреваются горячим воздухом, открытым газовым пламенем, ИК-лучами или расплавами солей. Охлаждающие камеры оборудованы душем с холодной водой.

Основные процессы, происходящие при формовании, – это распределение порошка по поверхности формы, нагрев до плавления, сплавление частиц, уплотнение расплава, охлаждение изделия. Во вращающейся форме расплав удерживается на стенках благодаря адгезионным и центробежным силам.



ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Задание на курсовое проектирование выдается кафедрой. Темы проектов должны предусматривать решение конкретных задач по профилю дисциплины и в полной мере отвечать целям и задачам их выполнения.

Задание по курсовому проекту содержит:

- фамилию, имя, отчество исполнителя;
- тему проекта;
- срок сдачи законченного проекта;
- исходные данные;
- содержание проекта;
- календарный график выполнения проекта;
- фамилию руководителя.

Варианты заданий по курсовому проектированию должны обладать равным уровнем сложности и трудоемкости.

Количество вариантов заданий должно превышать предполагаемое число студентов, выполняющих курсовой проект по дисциплине.

Задание оформляется на бланке, подписывается руководителем проекта и утверждается заведующим кафедрой.

Выдача заданий студентам производится персонально и сопровождается необходимыми пояснениями, в том числе и для всей группы одновременно.



СОСТАВ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Состав и содержание курсового проекта определяется кафедрой, ведущей курсовое проектирование в соответствии с методическими указаниями.

Курсовой проект включает две основные части:

- 1) пояснительную записку, содержащую расчетно-графическую часть, которая располагается по ходу изложения материала;
- 2) графическую часть, включающую технологическую схему основного процесса.

При необходимости курсовой проект может также сопровождаться иллюстрационным материалом схемами, диаграммами, таблицами и т. п., обеспечивающими наглядность.

Пояснительная записка курсового проекта включает следующие структурные элементы, расположенные в приведенной последовательности:

- титульный лист;
- задание на курсовое проектирование;
- реферат;
- содержание;
- введение;
- основные разделы;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения (при необходимости).

Титульный лист следует оформить в соответствии с прил. А.

Реферат должен содержать:

- 1) сведения об объеме курсового проекта (количество страниц пояснительной записки с указанием количества рисунков, таблиц, использованных источников и приложений);
- 2) перечень ключевых слов;
- 3) текст реферата.

Перечень ключевых слов должен характеризовать основное содержание курсового проекта и включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста курсового проекта. Ключевые слова приводятся

в единственном числе, именительном падеже, прописными буквами в строку через запятые, без переноса слов и применения сокращений, записываются с начала строки без абзацного отступа. Точка в конце перечня не ставится.

Текст реферата должен отражать сокращенное изложение содержания курсового проекта с основными сведениями и выводами.

Слово **Реферат** записывают в виде заголовка, размещенного по центру текста, с первой прописной буквы, выделяют полужирным начертанием.

Объем реферата должен составлять 500–800 знаков (не более одной страницы) (см. прил. Б).

Содержание включает введение, номера и наименования всех разделов и подразделов, заключение, список использованных источников и приложения с указанием номеров страниц, на которых помещен каждый заголовок. Номер страницы проставляется справа от наименования арабской цифрой без буквы «с.» и знаков препинания.

Слово **Содержание** записывают в виде заголовка, размещенного по центру печатного поля, начинающегося с прописной буквы, выделенного полужирным начертанием. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами, кроме первой прописной (см. прил. В).

Введение должно отражать обоснование выполняемой работы с анализом существующих решений по поставленной теме. Слово **Введение** записывают в виде заголовка, размещенного по центру текста, с первой прописной буквы, выделяют полужирным начертанием.

Основные разделы пояснительной записки могут содержать:

- конструкторские, технологические, исследовательские, технико-организационные и экономические расчеты;
- выводы (заключение) по проекту, включающие предложения по реализации полученных результатов.

Структура пояснительной записки устанавливается кафедрой с учетом специфики учебного курса и темы проекта. Некоторые из разделов проекта могут быть объединены между собой, введены новые или исключены какие-либо.

Глубина проработки и объем каждого из разделов определяются руководителем проекта при составлении задания на проектирование.

Список использованных источников помещается после изложения текстового материала пояснительной записки перед приложением и должен включать перечень всех использованных литературных источников в порядке появления ссылок на них в тексте. Список источников оформляется по ГОСТ 7.1 (прил. Г).

Иллюстративный материал, таблицы или текст вспомогательного характера допускается приводить в виде **приложений**, которые оформляются как продолжение пояснительной записки или включаются в виде самостоятельного документа.

Каждое приложение должно начинаться с нового листа с указанием по центру вверху первого листа слова **ПРИЛОЖЕНИЕ** прописными буквами и иметь заголовок, который записывается ниже отдельной строкой строчными буквами (кроме первой прописной), выравнивается по центру, выделяется полужирным.

Приложения обозначаются прописными буквами русского алфавита (за исключением Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь). Например, **ПРИЛОЖЕНИЕ А**.

Общий объем текстового материала не должен превышать 30 страниц текста, набранного на компьютере (шрифтом 14 пт, с одинарным межстрочным интервалом), а графическая часть – не более 2 листов формата А1, оформленных согласно ГОСТ 2.301 (без учета приложений).

Материалы курсового проекта должны быть изложены в логической последовательности, технически грамотно, четко и сжато. Расчеты в пояснительной записке иллюстрируются рисунками, эскизами, схемами, графиками, диаграммами.



ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

7.1. Пояснительная записка

Текстовый материал курсового проекта должен быть выполнен на белой бумаге формата А4 по ГОСТ 2.301 на одной стороне листа на русском или белорусском языках.

Пояснительная записка должна быть выполнена на компьютере.

Текст печатается в базовом редакторе Word шрифтом размером 14 пт, гарнитурой Times New Roman Cyr., одинарным межстрочным интервалом.

Кегль шрифта в формулах: основной – 14 пт, индексы – 9 пт, подындексы – 7 пт, крупные символы (например, Σ) – 18 пт. Масштаб рисунка формулы – 100%-ный.

Текст печатается с соблюдением размеров полей, мм: правое – 10; левое – 30; нижнее и верхнее – 20.

При наличии рамки текст располагается от рамки, мм: слева и справа – 2–3; сверху – 15; снизу вплотную к основной надписи.

Построение документа. Текст пояснительной записки разделяют на разделы и подразделы, а при необходимости на пункты и подпункты в соответствии с ГОСТ.

Каждый раздел и подраздел должен иметь заголовок, который должен быть кратким. Заголовки разделов и подразделов записываются с абзацного отступа строчными буквами (кроме первой прописной). Перенос слов в заголовках не допускается. Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Абзацный отступ составляет 12,5 мм.

Заголовки разделов и подразделов имеют полужирное начертание, размер шрифта 14 пт. Интервал между заголовком раздела и текстом составляет 18 пт; интервал перед заголовком подраздела и текстом – 18 пт; интервал после заголовка подраздела и текста – 12 пт.

Текст пункта и подпункта записывается с абзацного отступа. Расстояние между концом предыдущего пункта или подпункта и началом следующего должно быть такое же, как и в тексте, т. е. они не разделяются между собой дополнительными интервалами.

Все разделы, подразделы, пункты и подпункты должны быть пронумерованы арабскими цифрами, в конце их номеров точка не ставится. Высота цифр такая же, как и прописных букв.

Подразделы должны быть пронумерованы в пределах раздела. Номер состоит из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. Например, 3.1 (первый подраздел третьего раздела).

Пункты должны иметь порядковые номера в пределах каждого раздела и подраздела. Номер пункта состоит из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками (например, 1.1.1).

Номер подпункта состоит из номеров раздела, подраздела, пункта и подпункта, разделенных точками (например, 1.1.1.1).

Такие структурные составляющие пояснительной записки, как, титульный лист, задание на курсовое проектирование, реферат, содержание, введение, заключение, список использованных источников, не нумеруются.

Разделы «Реферат», «Содержание», «Введение», «Заключение», «Список использованных источников» следует начинать с нового листа без рамки. Первые листы разделов необходимо выполнять с нового листа в рамке с основной надписью формы 2 в соответствии с ГОСТ 2 104 (прил. Д). Последующие листы необходимо выполнять согласно требованиям кафедры.

Заполнение основной надписи. Заполнение основных надписей производится в соответствии с прил. Д.

В графе 1 следует записать название раздела. В графе 2 – буквенно-цифровое обозначение (индекс) в виде КП ХХ ХХ ПЗ, которое устанавливается кафедрой.

Не присваивается индекс реферату, введению, содержанию, списку использованных источников.

В графе 10 помещаются:

«Разраб.» – фамилия исполнителя;

«Пров.» – фамилия руководителя проекта;

«Конс.» – фамилия консультанта;

«Н. контр.» – фамилия нормоконтролера.

В графе 11 помещаются фамилии лиц соответственно графе 10; в графе 12 – подписи лиц, указанных в графе 11; в графе 13 – даты подписания.

В графе 4 указывается литера, соответствующая стадии разработки проекта по ГОСТ 2.103, присваиваемая руководителем проекта. Для учебных проектов проставляется литера «У».

В графе 7 ставится 1.

В графе 8 указывается количество страниц в пределах одного раздела.

В графе 9 в первой строке пишется БГТУ, а во второй строке последовательно располагаются коды факультета, кафедры, специальности студента и последние две цифры года защиты курсового проекта без указания слова «год» или «г.». Все коды приведены в прил. Е.

Остальные графы формы 2 не заполняются.

Оформление иллюстраций. Количество иллюстраций в пояснительной записке должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту пояснительной записки, так и в приложении. Иллюстрации должны быть размещены так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота пояснительной записки или с поворотом по часовой стрелке.

Иллюстрации (чертежи, схемы, графики, диаграммы, рисунки, фотографии), которые расположены на отдельных листах записки, включаются в общую нумерацию страниц (листов). Иллюстрация, размеры которой больше формата А4, учитывается как один лист. Иллюстрации, выполненные не на всю ширину листа, необходимо располагать слева от текста.

Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах раздела. При нумерации в пределах раздела номер рисунка должен состоять из номера раздела и порядкового номера рисунка в разделе, разделенных точкой. Номер помещается под рисунком и записывается в сопровождении слова «Рисунок», например Рисунок 2.4 (четвертый рисунок второго раздела).

Если в документе одна иллюстрация, она должна быть обозначена Рисунок 1. Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, Рисунок А.2 (второй рисунок приложения А).

Рисунки должны иметь наименования, которые располагаются под ними с выключкой по центру. При необходимости рисунки могут иметь пояснительные данные (подрисуночный текст), которые помещают сразу под рисунком, а ниже – номер рисунка с наименованием.

Формулы и уравнения. Все расчеты выполняются только в системе СИ.

При использовании формул из первоисточников, в которых употреблены внесистемные единицы, их значения должны быть переведены в единицы системы СИ.

Расчетные формулы и уравнения записываются в общем виде, затем подставляются числовые значения величин в том порядке, в каком они располагаются в формуле, после этого записывается окончательный результат с указанием размерности. Промежуточные вычисления, сокращения и зачеркивания не допускаются.

Непосредственно под формулой должны быть приведены значения символов, числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не встречались ранее. Значение каждого символа с указанием размерности даются с новой строки и в той последовательности, в какой они приведены и формуле. Причем первая строка расшифровки должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

В формулах и уравнениях в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии принятыми в отрасли.

Все формулы и уравнения нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах раздела. В случае нумерации в пределах раздела номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках. Одну формулу обозначают (1).

Если при расчетах определяется большое количество параметров, результаты расчета целесообразно свести в таблицу.

Расчеты должны сопровождаться расчетными схемами, эскизами, эпюрами и рисунками, необходимыми пояснениями.

Все используемые формулы, а также подставляемые в них величины и коэффициенты следует снабжать ссылкой на источники, которые заключаются в квадратные скобки.

Оформление таблиц. Таблицы выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105.

Таблица размещается после первого упоминания о ней в тексте таким образом, чтобы ее можно было читать без или с поворотом по часовой стрелке.

Таблица должна иметь заголовок, который записывается строчными буквами (кроме первой прописной) и помещается на одной строке

через тире после слова «Таблица» и ее номера. Слово «Таблица» и ее номер указываются слева над таблицей без абзацного отступа.

Заголовки граф (колонок) и строк таблицы должны начинаться с прописной буквы, а подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, и с прописной, если они самостоятельные. В конце заголовков и подзаголовков таблиц знаки препинания не ставятся. Заголовки пишутся в единственном числе.

Делить головки таблиц по диагонали не допускается.

Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм. Графа № п/п в таблицу не включается. Размерности величин, приведенных в таблице, указывают в заголовке строк или после наименования через запятую. Например, плотность, кг/м³.

Все таблицы нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах раздела. При нумерации в пределах раздела номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой, например Таблица 2.1 (первая таблица второго раздела). Знак № не ставится. Если в документе одна таблица, она должна быть обозначена Таблица 1.

В тексте пояснительной записки не допускается:

– употреблять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;

– использовать для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов на языке написания записки;

– применять произвольные словообразования и сокращения слов, кроме установленных правилами орфографии и соответствующими стандартами (ГОСТ 2.106);

– сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением физических величин в головке таблиц и в расшифровке буквенных обозначений, входящих в формулы;

– использовать сокращения слов, кроме установленных правилами орфографии и пунктуации, а также соответствующими государственными стандартами (ГОСТ 2.105, ГОСТ 2.106);

– употреблять математические знаки без цифр и вне формул, например \leq (менее или равно), \geq (более или равно), \neq (не равно), а также знаки № (номер), % (процент);

– применять индексы стандартов (ГОСТ, СТБ, КТП, СТП, ТУ) без регистрационного номера;

– использовать в тексте математический знак (–) минус перед отрицательными значениями величин, следует писать слово «минус».

В тексте пояснительной записки должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе.

Если в пояснительной записке принята специфическая терминология, то в конце ее (перед списком использованных источников) должен быть приведен перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Перечень включается в содержание курсового проекта.

Если в пояснительной записке применяется особая система сокращения слов или наименований, то в ней должен быть приведен перечень принятых сокращений, который помещают в конце документа перед перечнем принятых терминов.

В пояснительной записке используется сквозная нумерация страниц. Исчисление страниц пояснительной записки начинается с титульного листа, номер страницы на котором не ставится. Номер страницы проставляется в правом верхнем углу без точки, начиная со страницы «Введение» шрифтом 14 пт.

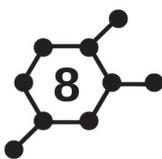
Пояснительная записка курсового проекта должна быть сброшюрована, иметь титульный лист, оформленный согласно прил. А. Если пояснительная записка проекта сброшюрована в непрозрачной папке, то на папке необходимо поместить лист, дублирующий титульный.

7.2. Требования к графическому и иллюстративному материалу

Графический материал должен отвечать требованиям стандартов и наибольшей наглядности представленных результатов.

Выполнение технологических чертежей должно производиться на чертежной бумаге стандартного формата в соответствии с требованиями ГОСТ 2.301.

Диаграммы, графики, рисунки должны быть выполнены с помощью компьютерной графики. Допускается цветное исполнение.



КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СИНТЕЗА И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ»

Курсовой проект выполняется студентами по завершении изучения теоретической части курса «Технология и оборудование синтеза и переработки полимеров». Курсовой проект реализуется с целью систематизации, закрепления и расширения теоретических знаний, а также развития навыков самостоятельной работы по решению инженерных и расчетно-графических задач.

Выполненный курсовой проект должен свидетельствовать об умении студента успешно решать поставленные технические задачи, находить новые и оригинальные технические решения, убедительно их обосновывать, ясно и квалифицированно их излагать в составе пояснительной записки и графической части.

Проектирование технологических процессов по переработке полимерных материалов имеет свою специфику, которая обусловлена обилием методов переработки исходного сырья в изделия, чрезвычайно широким ассортиментом получаемых изделий, а также разнообразным размещением участков и цехов по переработке полимеров на предприятиях самых различных отраслей народного хозяйства. Поэтому на стадии проектирования следует особенно большое внимание уделять выбору оптимальной мощности производств, правильному решению вопросов специализации производств по ассортименту и методам переработки, рациональному размещению проектируемых участков (цехов) в зависимости от их профиля и мощности.

Как правило, объектом курсового проекта является участок, производящий определенный вид продукции.

Курсовой проект, выполненный в соответствии с установленными правилами, состоит из пояснительной записки и графического материала (чертежей).

Пояснительная записка с необходимыми рисунками, схемами и таблицами (примерно 30 страниц текста, набранного на компьютере) включает следующие разделы:

Введение.

1. Общая часть.

1.1. Обоснование выбранного метода производства.

2. Технологическая часть.

2.1. Аналитический обзор литературы. Теоретические основы процесса. Технологические основы процесса.

2.2. Характеристика сырья и его подготовка к технологическому процессу.

2.3. Характеристика готовой продукции.

2.4. Разработка технологической схемы производства.

Список использованных источников.

Приложения.

8.1. Разделы пояснительной записки

8.1.1. Введение

В данной части пояснительной записки следует кратко описать существующее производство по теме проекта в нашей стране и за рубежом с использованием материалов, опубликованных в монографиях и периодической литературе, в патентах и авторских свидетельствах; необходимо отметить также технико-экономическое значение проектируемого производства в народном хозяйстве, перспективы его развития и основные направления технического прогресса в области, к которой относится проектируемое производство. Ссылки на использованные информационные источники обязательны.

8.1.2. Общая часть

Обоснование выбранного метода производства. Здесь необходимо дать оценку значимости выпускаемой продукции (изделия, полуфабрикаты) для народного хозяйства, обосновать потребность народного хозяйства в данной продукции и отметить область ее применения.

При выборе метода производства пластмассовых изделий или полуфабрикатов необходимо кратко изложить различные методы их производства и проанализировать их достоинства и недостатки. Важно показать достижения передовых предприятий отрасли и новаторов производства.

Здесь же следует обосновать мероприятия, которые положены в основу проектирования с целью создания более прогрессивного производства, включающего замену старых технологических процессов новыми, повышение степени механизации и автоматизации производственных процессов, улучшение организации производства.

Необходимо подробно описать основные преимущества выбранного метода, такие как повышение производительности труда, использование недефицитного сырья, снижение расходных коэффициентов сырья и себестоимости продукции, улучшение качества продукции и условий труда и т. п. Следует помнить, что выбираемый метод производства должен быть наиболее рентабельным в заданных условиях (учитывая объем производства, размещение предприятия и т. д.).

8.1.3. Технологическая часть

Теоретические основы проектируемого технологического процесса. Можно выделить следующие основы.

1. Химические и физико-химические основы процесса. В данной части расчетно-пояснительной записки курсового проекта необходимо изложить химические и физико-химические основы производства: химизм процессов, механизм реакций, поведение материалов в процессах переработки и т. д. Раздел должен иметь достаточное количество ссылок на литературные источники (монографии, журналы: «Высокомолекулярные соединения», «Пластические массы», «Механика композитных материалов», «Материалы, технологии, инструменты», научно-технические сборники, сборники научных трудов и др.).

2. Технологические основы процесса. Написание данного раздела осуществляется после изучения теоретических основ производства, являющихся базой для обоснования выбираемых параметров технологического процесса. Здесь же необходимо отметить влияние условий проведения процессов (температура, давление и т. д.) на свойства получаемых изделий, привести обоснование выбора технологических параметров процессов. Одновременно следует показать, как влияют подготовительные и заключительные стадии технологического процесса на свойства готовой продукции (например, влияние термической обработки на эксплуатационные свойства изделий). При написании данного раздела также используются сведения,

опубликованные в отечественной и зарубежной литературе (патентах, монографиях, энциклопедиях, справочниках, периодической литературе и т. д.). Текст раздела рекомендуется сопровождать таблицами, графиками и схемами.

Характеристика сырья и его подготовка к технологическому процессу. В данном разделе необходимо привести краткую характеристику сырья, применяемого в проектируемом производстве, его получение и условия хранения, указать потери и отходы при переработке. Главное внимание нужно уделить технологическим и физико-химическим свойствам сырья. Характеристику свойств сырья с указанием марок по существующим стандартам следует оформить в виде таблиц. При этом свойства сырья описываются согласно государственным стандартам, техническим условиям и справочной литературе. В данном разделе дается описание способов подготовки сырья к технологическому процессу (таблетирование, сушка и т. д.).

Характеристика готовой продукции. В разделе следует привести номенклатуру изделий или полуфабрикатов, принятых для проектируемого участка; необходимо изложить требования к готовой продукции (государственные стандарты, технические условия), области ее использования, упаковке, хранению и транспортировке. При написании раздела следует пользоваться информацией, имеющейся в литературе. Здесь же приводятся эскизы изделий.

В данном разделе осуществляется проверка одного из изделий на соответствие требованиям к технологичности пластмассовых деталей.

Грамотная оценка технологичности изготавливаемого изделия, взаимосвязка при этом показателей и параметров исходного сырья, метода переработки и свойств готового изделия, является одной из основных задач проекта.

Разработка технологической схемы производства. Разработка технологической схемы производства – важнейший этап курсового проектирования. Здесь студент должен охарактеризовать существующие технологические процессы, предложить пути устранения недостатков имеющихся производств на основе последних достижений отечественной и зарубежной науки и техники, передового производственного опыта и обосновать выбор принятой им технологической схемы.

При разработке технологической схемы следует использовать приемы, позволяющие интенсифицировать процессы (применение

предварительного подогрева сырья, прогрессивных технологических методов, режимов и т. п.). В технологической схеме должна быть предусмотрена максимальная степень механизации и автоматизации основных и вспомогательных процессов, транспортировки сырья, промежуточной и готовой продукции, а также упаковки и складирования последней. Технологическая схема должна обеспечивать поточность производства, сокращение возвратных потерь, снижение расходных коэффициентов материалов, улучшение условий труда.

Разработка технологической схемы ведется по этапам (стадиям) с тщательным анализом всех возможных вариантов осуществления процесса на каждом из них. Например, при проектировании участка производства экструзионных изделий из термопластов технологическую схему можно разделить на следующие этапы: прием сырья на завод и транспортировка на склад; растаривание сырья; хранение сырья; подготовка сырья к переработке; транспортировка сырья с участка подготовки или склада в бункер экструдера; формование изделий; обработка изделий; упаковка изделий; переработка отходов; транспортировка готовых изделий на склад готовой продукции.

Путем последовательной проработки и сравнения различных вариантов проведения каждого из перечисленных этапов технологического процесса того или иного производства выбирается наиболее оптимальное решение и, исходя из этого, разрабатывается технологическая схема, которая должна обеспечить получение продукции нужного качества при наименьших затратах и эксплуатационных расходах, получение продукции с минимальной себестоимостью.

Описание и графическое изображение технологической схемы должно быть кратким и четким, но вместе с тем ясным.

Разработку технологической схемы ведут с учетом рекомендаций, приведенных в учебниках [1–3].

8.2. Материальные расчеты производства

Расчет материального баланса производства. Для расчета материального баланса процесса, который проектируется, необходимо использовать следующие исходные данные:

1) производительность установки (реактора и т. д.) по целевой продукции – G , т/год;

2) состав сырья, количество часов работы установки, потери сырья, конверсия сырья.

Общий материальный расчет производств синтеза полимеров. Он включает следующие виды расчета:

1) расчет количества рабочих дней (часов) в году. В случае периодических и комбинированных процессов необходимо предусмотреть сменный график нерабочих дней производственного персонала без остановки производства на нерабочие дни. Тогда количество рабочих дней в году составляет:

$$Д = 365 - (P + C),$$

где P – количество дней в году, которые отведены на капитальный и другие виды ремонта; C – количество праздничных дней в году.

Для непрерывного процесса количество рабочих дней в году составляет: $Д = (365 - P) \cdot 24$, так как непрерывное производство не останавливается на праздничные дни. Значение P , кроме времени, которое отводится на ремонт, включает время для чистки аппаратов, замены катализатора и т. д.;

2) расчет суточной (часовой) производительности производства без учета потерь:

$$П_c^G = M / Д \text{ (т/сут, кг/ч)},$$

где M – заданная производительность готового продукта в год, т;

3) определение суточной (часовой) производительности производства с учетом общих потерь продукта по стадиям:

$$П_c^п = П_c / (1 - a / 100) \text{ (т/сут, кг/ч)},$$

где a – общий процент потерь готового продукта на всех стадиях производства;

4) определение общей величины потерь готового продукта и потерь по стадиям производства в массовом выражении:

$$П = П_c^п - П_c^G \text{ (т/сут, кг/сут, кг/ч)}.$$

Для периодических процессов наиболее удобно использовать потери в килограммах в сутки (кг/сут).

Потери готового продукта в процентах по отдельным стадиям a_1, a_2, a_3 и т. д. в массовых величинах описываются следующим образом:

1-я стадия – $\Pi \cdot a_1 / a$, кг/сут,

2-я стадия – $\Pi \cdot a_2 / a$, кг/сут,

3-я стадия – $\Pi \cdot a_3 / a$, кг/сут.

Сумма этих величин должна быть равна значению Π ;

5) определение суточного расхода каждого вида сырья с учетом потерь исходя из рецептуры загрузки компонентов в реакционную смесь. Прежде всего необходимо рассчитать получение каждого компонента в реакционной смеси (в процентах). После получения реакционной смеси (в реакторах, смесителях и т. п.) процент потерь сырья принимается условно равным для всех компонентов. Исключения составляют только потери легколетучих компонентов, потери при отгоне и выпадении в осадок одного из компонентов и т. д.);

б) определение потерь полученного сырья до получения реакционной смеси: при транспортировке, дозировке, загрузке и т. д.

Каждый вид сырья имеет определенные потери в зависимости от его агрегатного состояния и ступеней достоверности вспомогательных операций. Необходимо принять процент потерь на этих предварительных операциях, рассчитать массовые потери, которые суммируются с расходом каждого вида сырья с момента получения реакционной смеси;

7) расчет расходных коэффициентов на 1 т готового продукта по всем видам сырья.

Результаты расчета свести в табл. 1.

Таблица 1

Материальный расчет

Наименование сырья	Расход, т		Расходные коэффициенты, т/т готового продукта
	в сутки	в год	
Сырье А	A	$A \cdot Д$	$A / \Pi_c = (A \cdot Д) / M$
Сырье В	B	$B \cdot Д$	$B / \Pi_G = (B \cdot Д) / M$

Вторая часть материального расчета – постадийный (пооперационный) материальный баланс.

Материальный расчет производства изделий из полимерных материалов. Включает расчет основного и вспомогательного оборудования, складского хозяйства, транспорта и т. д. на основании нормативных [4] и практических данных действующих производств. Материальный расчет для основных и вспомогательных материалов производят отдельно.

Норму расхода сырья H , кг, на производство продукции рассчитывают по формуле

$$H = k \cdot T,$$

где k – расходный коэффициент, который приводится в таблицах [4];
 T – чистая масса единицы продукции, кг.

Все данные расчета основных материалов сводятся в табл. 2.

Таблица 2

Материальный расчет основных материалов

Материал	Наименование изделий	Годовая программа, тыс. шт. (кг)	Чистая масса изделия, кг	Коэффициент расхода материала	Норма расхода материала, кг	Годовая потребность в материале по чистой массе, кг	Возвратные отходы материала, кг	Потребность количества материала на выполнение годовой программы, кг
----------	----------------------	----------------------------------	--------------------------	-------------------------------	-----------------------------	---	---------------------------------	--

К вспомогательным материалам при получении изделий из пластмасс относятся мешки полиэтиленовые и полипропиленовые, скотч, картонные ящики, бумага, термоусадочная пленка, шпагат и др. Их расход берется из литературных данных. Следует отдавать предпочтение применению многооборотной тары.

Данные расчета вспомогательных материалов для всех изделий оформляют по форме табл. 3.

Таблица 3

Материальный расчет вспомогательных материалов

Наименование изделий	Программа, тыс. шт. (кг)	Термоусадочная пленка		Ящики	
		на 1000 кг	на программу, кг	на 1000 шт. изделий (на 1000 кг), шт.	на программу, кг

Выбор и расчет количества основного и вспомогательного оборудования. Выбор оборудования для реализации намеченного технологического процесса производят, пользуясь учебной и справочной литературой, каталогами и прейскурантами [12–31].

В проекте необходимо по возможности предусматривать использование отечественного оборудования.

Для расчета *аппаратов периодического действия* рекомендуются следующие действия:

1) определение количества операций, которые будут происходить в одном аппарате в сутки:

$$n = \tau / t,$$

где n – количество операций в сутки; τ – продолжительность работы аппарата в сутки; t – продолжительность стадии технологического процесса, ч.

Причем

$$t = t_p + t_d,$$

где t_p – оптимальный период времени пребывания реакционной массы на данной стадии технологического процесса, ч; t_d – время, которое затрачено на вспомогательные операции (загрузка сырья, выгрузка готового продукта, чистка аппарата и др.).

Количество операций n , которые производятся одним аппаратом в сутки, можно также найти из соотношения

$$n = V_c / V_p,$$

где V_c – суточный объем перерабатываемых материалов, м³; V_p – рабочая емкость всех аппаратов определенной технологической стадии, м³.

Таким образом, рабочая емкость всех аппаратов

$$V_p = V_c / n;$$

2) расчет общего объема всех аппаратов определенной технологической стадии $V_{\text{общ}}$, м³

$$V_{\text{общ}} = V_p / \varphi,$$

где φ – коэффициент заполнения аппарата;

3) выбор объема одного аппарата необходимо проводить с учетом конкретных условий его эксплуатации;

4) расчет количества аппаратов определенной стадии

$$K = V_{\text{общ}} / V,$$

где K – количество аппаратов; V – объем одного аппарата (по каталогу), м³.

Для расчета *аппарата непрерывного действия* необходимо выполнить:

1) определение объема перерабатываемых материалов в единицу времени $V_{\text{ч}}$ (м/ч, м/мин, м/с):

$$V_{\text{ч}} = V_{\text{сут}} / 24 \text{ м/ч};$$

2) расчет рабочей емкости всех аппаратов определенной технологической стадии:

$$V_{\text{р}} = V_{\text{ч}} \cdot t_{\text{непр}},$$

где $t_{\text{непр}}$ – продолжительность пребывания реакционной массы в аппарате непрерывного действия (это условное время пребывания), ч.

$$t_{\text{непр}} = V_{\text{р}} / V_{\text{о}},$$

где $V_{\text{р}}$ – рабочий объем реактора, м³; $V_{\text{о}}$ – объемная скорость непрерывного процесса, м³/ч;

3) расчет общей емкости всех аппаратов по аналогии с расчетом аппаратов периодического действия:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{р}} / \varphi;$$

4) определение количества аппаратов непрерывного действия аналогично аппаратам периодического действия:

$$K = V_{\text{общ}} / V,$$

где V – объем одного аппарата, м³.

Для расчета количества *литьевого оборудования* для проектируемого участка рекомендуется методика, приведенная ниже.

Количество оборудования вычисляется из соотношения

$$n = T_{\text{г-п}} / T_{\text{эф}},$$

где $T_{\text{г-п}}$ – трудоемкость изготовления годовой программы принятых изделий на данном виде оборудования (если в производстве экструзионных полуфабрикатов трудоемкость годовой программы ранее не была определена, то ее выявляют исходя из производительности оборудования и годовой производственной программы), ч; $T_{\text{эф}}$ – эффективное время работы оборудования, ч.

Причем эффективное время работы оборудования рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{\text{эф}} = K \cdot (T - T_{\text{р}}),$$

где K – коэффициент использования оборудования, учитывающий остановки при разработке технологических режимов, перестановке

пресс-форм, запуске новых партий материалов и др.; T – режимный фонд времени работы оборудования, ч; T_P – время, необходимое на ремонт, ч.

Принимая пятидневную рабочую неделю и трехсменную работу при восьмичасовой смене для литейных и прессовых цехов, имеем 104 выходных и праздничных дня в среднем за год. Таким образом, режимный фонд времени T в этом случае составит 261 день или 6264 ч (календарный годовой фонд времени 365 дней).

В производстве полуфабрикатов и изделий из пластмасс методом экструзии принимается непрерывная рабочая неделя при трехсменном режиме работы с продолжительностью одной смены 8 ч. Режимный фонд времени при этом составит 8568 ч.

Продолжительность простоев оборудования на ремонте в год определяется по формуле

$$T_P = K_1 \cdot (n_1 \cdot H_1 + n_2 \cdot H_2),$$

где K_1 – категория ремонтной сложности оборудования; n_1 – число текущих ремонтов в год (рассчитывают путем деления режимного фонда времени на продолжительность периода между текущими ремонтами в часах); n_2 – число капитальных ремонтов в год (вычисляют делением режимного фонда времени на продолжительность периода между капитальными ремонтами в часах); H_1 – норматив времени на единицу ремонтной сложности оборудования при текущем ремонте, равный 6 ч; H_2 – норматив времени на единицу ремонтной сложности оборудования при капитальном ремонте, равный 54 ч.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное)
Пример оформления титульного листа

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
Кафедра полимерных композиционных материалов
Специальность
Специализация

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ**

по дисциплине
«Технология и оборудование синтеза и переработки полимеров»

Тема

Исполнитель

Студент __ курса __ группы

подпись, дата

инициалы и фамилия

Руководитель

подпись, дата

должность, ученая степень,
ученое звание, инициалы
и фамилия

Курсовая работа защищена с оценкой

отметка и дата

Руководитель _____

подпись

инициалы и фамилия

Минск 2021

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное)

Пример выполнения реферата

Реферат

Пояснительная записка содержит 35 с., 3 рис., 6 табл., 17 источников.

**ВАКУУМ-ФОРМОВОЧНАЯ МАШИНА, ВАКУУМ-ФОРМОВАНИЕ,
УДАРОПРОЧНЫЙ ПОЛИСТИРОЛ, МАТЕРИАЛЬНЫЙ РАСЧЕТ,
ТЕХНОЛОГИЯ**

Рассмотрены физико-химические и технологические основы процесса вакуум-формования термопластов. Сделано обоснование и спроектирован участок цеха по выпуску вакуум-формовочных изделий из ударопрочного полистирола производительностью 560 т/год. Определены и обоснованы технологические параметры получения конкретных вакуум-формовочных изделий. Рассчитано количество ударопрочного полистирола для обеспечения работы технологических линий вакуум-формования в соответствии с программой. Подобраны тип и количество оборудования, дано его описание. Представлена технологическая схема участка.

ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное)

Пример выполнения содержания

Содержание

Введение.....	5
1 Общая часть	6
1.1 Обоснование выбранного метода производства.....	6
2 Технологическая часть	8
2.1 Теоретические основы процесса.....	9
2.1.1 Физико-химические основы процесса	11
2.1.2 Технологические основы процесса	14
2.2 Характеристика сырья и его подготовка к технологическому процессу	19
2.3 Характеристика готовой продукции	20
2.4 Разработка технологической схемы производства.....	22
2.4.1 Стадии технологического процесса	22
2.4.2 Описание технологической схемы	22
2.5 Материальные расчеты производства.....	23
2.6 Технологические расчеты	26
2.7 Выбор и расчет количества основного и вспомогательного оборудования	29
Список использованных источников	32

ПРИЛОЖЕНИЕ Г (справочное)

Пример выполнения библиографического описания в списке использованных источников

Характеристика источника	Пример оформления
Один, два или три автора	Пискарев, А. А. Нормирование расхода пластмасс в производствах их переработки / А. А. Пискарев. – М.: Химия, 1989. – 96 с.
Отдельный том в многотомном издании	Бортников, В. Г. Производство изделий из пластических масс: в 2 т. Т. 1: Производство изделий из термопластов / В. Г. Бортников. – Казань: Дом печати, 2002. – 399 с.
Стандарт	Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления: ГОСТ 7.1–84. Взамен ГОСТ 7.1–76; введ. 01.01.86. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 78 с.
Авторское свидетельство	Полимерная композиция: а. с. 897798 СССР, VRB С 08 L 23/04 / Т. А. Николаева, М. М. Ревяко, К. А. Каленников, В. В. Яценко, В. С. Юран, Р. И. Дашевская; Белорус. технол. ин-т им. С. М. Кирова. – № 2913838/23; заявл. 22.04.80; опубл. 15.01.82, бюл. № 2 // Открытия: Изобрет. – 1991. – № 45. – С. 28.
Патент	Стабилизатор термоокислительной деструкции полиэтилена: пат. ВУ 7203 / Ю. П. Лосев, Н. Р. Прокопчук, В. В. Яценко. – Опубл. 30.09.2005.
Каталог	Полистирольные пластики: каталог / Т. И. Барташов. – Л.: Пластполимер, 1990. – 32 с.
Автореферат диссертации	Ермолович, О. А. Биоразлагаемые упаковочные пленки на основе химически модифицированных полиолефинов и крахмалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / О. А. Ермолович; Ин-т механики металлополимер. систем им. В. А. Белого НАН Беларуси. – Гомель, 2006. – 22 с.
Отчет о НИР	Физико-химические основы технологий получения композитов с улучшенными свойствами: отчет о НИР (заключ.) / Белорус. гос. технол. ун-т: рук. темы Н. Р. Прокопчук. – Минск, 2005. – 137 с. – № ГР 20012431.

Составная часть книги, сборника, журнала	Яценко, В. В. Изучение состава вспенивающихся композиций на основе полиэтилена высокого давления на их структуру и свойства / В. В. Яценко, О. М. Касперович, Е. Ю. Усачева // Пластмассы. – 2004. – № 11. – С. 127.
Статьи из сборников тезисов докладов и материалов конференций	Касперович, О. М. Разработка рецептуры защитных полимерных покрытий металлических трубопроводов / О. М. Касперович, М. М. Ревяко // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве стирольных материалов: материалы науч.-техн. конф., Минск, 25–27 янв. 2003 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2003. – С. 37–39.
Статья из энциклопедии, словаря	Вакуум-формование // Энциклопедия полимеров. в 4 т. – М., 1972. – Т. 1. – С. 373–376.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное)

Основные надписи по ГОСТ 2.104

Форма 1

Для конструкторских чертежей

					(2)					
					(2)					
					(2)					
						Лит.		Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		(4)		(5)	(6)	
Разраб.										
Пров.										
Т. контр.						Лист (7)		Листов (8)		
					(3)	(9)				
(10)		(11)	(12)	(13)						
Н. контр.										
Утв.										

Форма 2

Для текстовых документов (первый лист)

					(2)					
					(2)					
					(2)					
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лит.		Лист	Листов	
Разраб.						(4)		(7)	(8)	
Пров.						(9)				
(10)		(11)	(12)	(13)						
Н. контр.										
Утв.										

Форма 2а

Для всех конструкторских документов (последующие листы)

					(2)			Лист
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)				(7)
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				

ПРИЛОЖЕНИЕ Е (справочное)

Коды факультетов, кафедр и специальностей

Первая цифра – код факультета:

3 – технологии органических веществ;

6 – инженерно-экономический;

7 – заочного образования.

Две последующие цифры – номер выпускающей кафедры:

13 – полимерных композиционных материалов;

36 – экономической теории и маркетинга;

37 – менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития;

38 – экономики и управления на предприятиях;

39 – организации производства и экономики недвижимости.

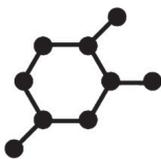
Четвертая и пятая цифры – код специальности:

07 – инженер-химик-технолог;

14 – экономист-менеджер;

15 – менеджер-экономист;

16 – маркетинголог-экономист.



ЛИТЕРАТУРА

1. Бортников, В. Г. Основы технологии переработки пластических масс / В. Г. Бортников. – Л.: Химия, 1983. – 502 с.
2. Швецов, Г. А. Технология переработки пластических масс / Г. А. Швецов, Д. У. Алимова, М. Д. Барышникова. – М.: Химия, 1988. – 486 с.
3. Киреев, В. В. Высокомолекулярные соединения / В. В. Киреев. – М.: Юрайт, 2013. – 602 с.
4. Шварц, О. Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф.-В. Эбеллинг, Б. Фурт. – СПб.: Профессия, 2005. – 320 с.
5. Саммерс, Дж. Поливинилхлорид / Дж. Саммерс, Ч. Уилки, Ч. Даниэлс. – СПб.: Профессия, 2007. – 728 с.
6. Николаев, А. Ф. Технология полимерных материалов / А. Ф. Николаев, В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов. – СПб.: Профессия, 2006. – 541 с.
7. Корнев, А. Е. Технология эластомерных материалов / А. Е. Корнев, А. М. Буканов, И. Н. Шевердяев. – М.: ЭКСИМ, 2000. – 287 с.
8. Кучерявая, С. К. Пластические массы / С. К. Кучерявая. – Минск: Технопринт, 2003. – 156 с.
9. Роговин, З. А. Основы химии и технологии химических волокон: в 2 т. / З. А. Роговин. – М.; Л.: Химия, 1965. – Т. 2: Производство синтетических волокон. – 253 с.
10. Аскадский, А. А. Компьютерное материаловедение полимеров / А. А. Аскадский, В. И. Кондратенко. – М.: Науч. мир, 1999. – 544 с.
11. Аскадский, А. А. Химическое строение и физические свойства полимеров / А. А. Аскадский, Ю. М. Матвеев. – М.: Химия, 1983. – 248 с.
12. Иржик, В. И. Сетчатые полимеры: синтез, структура и свойства / В. И. Иржик, Б. А. Розенберг, Н. С. Ениколопов. – М.: Наука, 1979. – 248 с.
13. Киреев, В. В. Высокомолекулярные соединения: учеб. для студентов вузов / В. В. Киреев. – М.: Высш. шк., 1992. – 512 с.
14. Козлов, П. В. Физико-химические основы пластификации полимеров / П. В. Козлов, С. П. Папков. – М.: Химия, 1982. – 234 с.

15. Копылов, В. В. В мире полимеров / В. В. Копылов. – М.: Знание, 1983. – 174 с.
16. Кулезнев, В. Н. Химия и физика полимеров / В. Н. Кулезнев, В. А. Шершнева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2007. – 367 с.
17. Кулезнев, В. В. Смеси и сплавы полимеров / В. В. Кулезнев. – СПб.: Научные основы и технологии, 2013. – 216 с.
18. Лосев, И. П. Химия синтетических смол / И. П. Лосев, Е. В. Тростянская. – М.: Химия, 1971. – 640 с.
19. Минченко, Т. В. Основы химии и физики полимеров: учеб. пособие / Т. В. Минченко. – Витебск: ВГТУ, 2005. – 252 с.
20. Папков, С. П. Физико-химические основы переработки растворов полимеров / С. П. Папков. – М.: Химия, 1971. – 364 с.
21. Пол, Д. Р. Полимерные смеси: в 2 т. / Д. Р. Пол, К. Б. Бакнелл; пер. с англ. под ред. В. Н. Кулезнева. – СПб.: Науч. основы и технологии, 2009. – Т. 1: Систематика. – 618 с.
22. Пол, Д. Р. Полимерные смеси: в 2 т. / Д. Р. Пол, К. Б. Бакнелл; пер. с англ. под ред. В. Н. Кулезнева. – СПб.: Науч. основы и технологии, 2009. – Т. 2: Функциональные свойства. – 606 с.
23. Практикум по химии и физике полимеров: учеб. пособие / Н. И. Аввакумов [и др.]; под ред. В. Ф. Куренкова. – М.: Химия, 1990. – 304 с.
24. Прокопчук, Н. Р. Химическая технология полимеров и композитов / Н. Р. Прокопчук, Э. Т. Крутько. – Минск: БГТУ, 2013. – 507 с.
25. Прокопчук, Н. Р. Химия и физика полимеров. Лабораторный практикум / Н. Р. Прокопчук, О. М. Касперович. – Минск: БГТУ, 2010. – 98 с.
26. Семчиков, Ю. Д. Высокомолекулярные соединения: учебник / Ю. Д. Семчиков. – 2-е изд. – М.: Академия, 2005. – 368 с.
27. Соколов, Б. Л. Основы синтеза полимеров методом поликонденсации / Б. Л. Соколов. – М.: Химия, 1979. – 293 с.
28. Стрепихеев, А. А. Основы химии высокомолекулярных соединений: учеб. пособие / А. А. Стрепихеев, В. А. Дервицкая. – М.: Химия, 1976. – 440 с.
29. Тугов, И. И. Химия и физика полимеров / И. И. Тугов, Г. И. Кастрыкина. – М.: Химия, 1989. – 432 с.
30. Шевченко, А. А. Физикохимия и механика композиционных материалов / А. А. Шевченко. – СПб.: Профессия, 2010. – 224 с.
31. Шишонок, М. В. Высокомолекулярные соединения / М. В. Шишонок. – Минск: Выш. шк., 2012. – 535 с.



ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ХАРАКТЕРИСТИКА И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ.....	4
2. КОМПОНЕНТЫ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ	25
2.1. Наполнители	25
2.2. Пластификаторы	32
2.3. Стабилизаторы	37
2.4. Ингредиенты эластомерных композиций	39
3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ	51
4. ЭКСТРУЗИЯ – МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ	56
4.1. Конструкция экструдера	57
4.1.1. Технологические процессы в экструдере	59
4.1.2. Экструзионные головки	60
4.2. Изготовление полимерных пленок	61
4.2.1. Изготовление рукавной пленки	62
4.2.2. Изготовление плоских пленок и листов.....	66
4.2.3. Изготовление труб, шлангов, профилей	69
4.2.4. Метод пневмовакуум-формования	70
4.2.5. Выдувное формование	72
4.2.6. Ротационное формование	73
5. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	75
6. СОСТАВ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	76
7. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	79
7.1. Пояснительная записка	79
7.2. Требования к графическому и иллюстративному материалу	84

8. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СИНТЕЗА И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ»	85
8.1. Разделы пояснительной записки	86
8.1.1. Введение	86
8.1.2. Общая часть	86
8.1.3. Технологическая часть.....	87
8.2. Материальные расчеты производства	89
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Пример оформления титульного листа.....	96
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Пример выполнения реферата.....	97
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Пример выполнения содержания.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Пример выполнения библиографического описания в списке использованных источников	99
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Основные надписи по ГОСТ 2.104	101
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Коды факультетов, кафедр и специальностей	102
ЛИТЕРАТУРА	103

Учебное издание

Долинская Раиса Моисеевна

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СИНТЕЗА И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ

Курсовое проектирование

Учебно-методическое пособие

Редактор *Т. Е. Самсанович*

Компьютерная верстка *А. Н. Петрова*

Дизайн обложки *П. П. Падалец*

Корректор *Т. Е. Самсанович*

Подписано в печать 26.05.2021. Формат 60×84¹/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 6,2. Уч.-изд. л. 6,4.
Тираж 50 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.