

Полимерные смеси на основе поливинилхлорида (обзор)

Polyvinyl chloride-based polymer blends (overview)

Н.А. ЛАВРОВ, Е.В. БЕЛУХИЧЕВ

N.A. LAVROV, E.V. BELUKHICHEV

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)

lna@lti-gti.ru

Рассмотрены полимерные смеси поливинилхлорида с различными классами полимерных материалов. Предложена классификация смесей. Приведены составы смесей. Обсуждается влияние вводимых добавок на свойства полимеров. Приведены примеры практического использования полимерных композиций.

Ключевые слова: поливинилхлорид, полимерные смеси, компатибилизация

Polymer mixtures of polyvinyl chloride with various classes of polymeric materials are considered. The classification of mixtures is proposed. The compositions of the mixtures are given. The effect of introduced additives on the properties of polymers is determined. Examples of the practical use of polymer compositions are given.

Keywords: polyvinyl chloride, polymer blends, compatibilization

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-55-59

Введение

Современная промышленность постоянно требует улучшения технических и потребительских свойств полимерных материалов для производства широкого спектра продукции. С целью получения новых полимерных материалов, расширения их ассортимента перспективны исследования по получению и изучению свойств полимерных смесей на базе уже известных крупнотоннажных полимеров, так как получение материалов с новыми свойствами путем синтеза является длительным и трудоемким процессом.

Одним из наиболее часто используемых в промышленности крупнотоннажных полимеров является поливинилхлорид (ПВХ), занимающий третье место в мире по объемам переработки (11%) после полиэтилена (29%) и полипропилена (19%). Полимерные смеси и композиты на основе ПВХ применяются при производстве строительных и отделочных материалов (оконный профиль, напольные покрытия, натяжные потолки и др.), упаковочных материалов для продуктов питания и фармацевтических изделий, материалов для легкой промышленности (искусственные кожи, пропитки для тканей) и во множестве других областей производства потребительских и промышленных товаров [1].

В данной статье рассматриваются полимерные смеси на основе поливинилхлорида, разработанные и полученные с целью производства материалов с новыми свойствами, либо для получения материалов из вторичного сырья.

Первой запатентованной смесью на основе ПВХ с другим полимером является смесь поливинилацетата и сополимера винилхлорида с винилацетатом, полученная в 1930–1936 гг. путем смешения латексов на основе данных полимеров. В то же время была получена первая жесткая композиция путем экструзионного смешивания поливинилхлорида с полиакриловой кислотой [2].

С тех пор было получено множество полимерных смесей на базе поливинилхлорида и его сополимеров, выпускаемых в виде латексов, пластизолов, органозолов, пластифицированных и жестких композиций. Это привело к тому, что ежегодный объем производства изделий на основе ПВХ оценивается в 50–55 млн тонн, и этот показатель продолжает расти со скоростью 4–5% в год.

Классификация смесей на основе ПВХ

С целью обобщения опубликованных в отечественных и зарубежных литературных источниках сведений о полимерных смесях на базе ПВХ, их систематизации и описания, предлагается классифицировать их по следующим признакам:

по назначению смеси:

- смеси для получения изделия с новыми свойствами;
- смеси для вторичной переработки полимеров;
- по типу использованного полимера:
- смеси с эластомерами;
- смеси с акриловыми полимерами;
- смеси с сополимерами винилацетата;
- смеси с сополимерами бутадиена и стирола;
- смеси с полиолефинами;
- смеси с хлорированными полимерами;
- смеси с поликетонами;
- смеси с инженерными пластиками;
- смеси с полиэфирами;

по параметру совместимости компонентов смеси:

- совместимые;
- ограниченно совместимые;
- компатибилизированные;
- несовместимые.

Смеси ПВХ с эластомерами

Благодаря содержанию акрилонитрильных групп нитрилбутадиеновый каучук (НБК) и стирол-акрилонитрильный каучук (САК) показали хорошую совместимость с поливинилхлоридом, что привело к появлению множества коммерческих полимерных смесей на базе этих полимеров.

Нитрилбутадиеновый каучук (НБК) – это эластомер, используемый чаще всего для модификации ПВХ. Почти все марки НБК совместимы, но не смешиваются с ПВХ. Набор достигаемых свойств достаточно впечатляющий. Многие технологи полагают, что такие смеси являются сплавами. Введение НБК приводит к появлению свойств, характерных для эластомеров – повышенной стойкости к маслам и растворителям, высокой прочности на разрыв, сопротивления истиранию, сопротивления изгибу, повышенной остаточной деформации при сжатии и стойкости к миграции и потере летучих [3].

Для приготовления смесей с ПВХ чаще всего используют НБК с содержанием акрилонитрильных групп в пределах от 25 до 45% [4]. Большинство промышленных смесей содержат от 50 до 90% НБК, который выступает в качестве твердого пластификатора и модификатора перерабатываемости [2]. Однако для получения соответствующей низкотемпературной пластичности требуется вводить значительно больше НБК в рецептуру в сравнении с классическим

пластификатором, к примеру, диоктилфталатом. Очевидно, что преимуществом пластифицированных смесей на базе ПВХ/НБК и ПВХ/САК является отсутствие миграции пластификатора, что обеспечивает большую долговечность получаемых изделий [5].

Вспененные смеси ПВХ со шпигтом НБК используются для производства спасательных жилетов, амортизаторов и изоляторов.

В последнее время отмечено, что процесс окисления НБК позволил совместить смесь ПВХ/НБК с полиамидом, поликарбонатом и полиэфиром [2]. Также было установлено, что НБК обеспечивает хорошую совместимость смеси ПВХ и сополимера монооксида углерода с этиленом и винилацетатом [2].

В литературе упоминаются смеси ПВХ с натуральным каучуком. Приводя результаты реологических и термических исследований смеси ПВХ с эпоксициклическим натуральным каучуком (50% эпоксициклирование), авторы публикации [6] пришли к выводу, что данная система является полностью совместимой. Эпоксициклированный натуральный каучук предлагается в качестве сухого пластификатора для мягких изделий из ПВХ.

Смеси ПВХ с акриловыми полимерами

Наиболее распространенный акриловый полимер – полиметилметакрилат (ПММА) – обладает ограниченной совместимостью с поливинилхлоридом [7]. Смешиваемость зависит от типа хлорированного полимера, тактичности ПММА и молекулярной массы пары полимеров. Основой совместимости данных полимеров является взаимодействие между $-\text{CHCl}-$ группой ПВХ и карбоксильной группой ПММА [2]. Стереоспецифичность ПММА определяет совместимость с ПВХ. Изотактический ПММА несовместим с ПВХ. С другой стороны, синдиотактический ПММА совместим с высокомолекулярным ПВХ при соотношении по массе мономера 1:1 [8].

Несмотря на низкую совместимость, жесткий ПВХ и экструзионный ПММА могут быть смешаны в расплаве с получением совместимой смеси. Данная смесь обычно экструдирована в виде пленки или листа и обладает отличными характеристиками устойчивости к воздействию внешней среды, улучшенной прочностью при ударе, высокой температурой стеклования и высокой температурой тепловой деформации [4].

Довольно подробное исследование совместимости смеси ПВХ с ПММА, полученным из электронных отходов, приведено в работах [9–10]. По результатам дифференциальной сканирующей калориметрии и испытаний физико-механических параметров изделий, полученных из смесей с разным соотношением ПВХ с ПММА, авторы [9–10] делают вывод, что данная смесь обладает крайне низкой совместимостью, но смешение и экструзия с высокими сдвиговыми напряжениями позволяют получить изделия с наименьшим количеством дефектов. Соотношение ПВХ/ПММА 70/30 (% масс.) отмечается как оптимальное по механическим характеристикам.

В технологии переработки ПВХ акриловые полимеры долгое время используются в качестве технологических добавок. Использование среднемолекулярных и низкомолекулярных полиметилметакрилатов позволяет ускорить процесс плавления, получать более однородный расплав, а также ускорить процесс термоформования листов и пленок из ПВХ [11–12].

Смеси ПВХ с сополимерами винилацетата

Самым распространенным полимером в данном классе является сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА). Несмотря на то, что данный сополимер обладает свойствами, по которым его можно отнести к эластомерам, в данной статье он был рассмотрен отдельно от эластомеров и отнесен к классу сополимеров винилацетата, так как определяющим параметром его совместимости с ПВХ является наличие винилацетатных групп, обладающих хорошей совместимостью с ПВХ, что, в свою очередь, привело к появлению значительного количества коммерческих смесей на базе этих двух полимеров. Это же способствовало использованию данного сополимера в качестве компатибилизатора для смеси ПВХ с полиэтиленом [13].

Совместимость СЭВА с ПВХ увеличивается с увеличением содержания звеньев винилацетата (ВА) до примерно 65–70%, а затем снижается. Сополимеры с содержанием ВА менее 40% имеют

ограниченную совместимость и применение. При содержании ВА 8–28% они используются как матирующие добавки при производстве изделий из гибкого ПВХ.

В гибких композициях СЭВА с высоким содержанием ВА служит долговременным пластификатором [5], сопоставимым, а иногда используемым совместно с полимерными пластификаторами, обеспечивающим высокую стойкость к миграции в процессе эксплуатации, а также химическую стойкость. При этом также улучшается теплостойкость и снижаются эффекты влияния окружающей среды на готовое изделие.

ПВХ/СЭВА также получают методом прививки при полимеризации мономера винилхлорида либо в растворе, либо в суспензии в присутствии СЭВА. Такие полимеры находят применение при изготовлении оболочки кабелей специального назначения, медицинских приборов и защитной обуви [3].

Коммерческие смеси ПВХ с СЭВА или ВХ–ВА были предложены для наружных применений в качестве жестких композиций с высокой ударной вязкостью. Данные смеси демонстрируют хорошую твердость, жесткость, достаточную тепло-, химическую и огнестойкость [2].

В статье [14] приводятся результаты исследования барьерных свойств пленок, полученных из смеси ПВХ с СЭВА. Данная полимерная смесь обладает улучшенными барьерными свойствами к водяным парам, кислороду и углекислому газу. Отмечается, что чем выше содержание винилацетатных групп, тем выше показатели барьерных свойств.

Смеси ПВХ с сополимерами бутадиена со стиролом

Сополимеры бутадиена со стиролом, синтезированные по типу «ядро–оболочка», являются ограниченно совместимыми с ПВХ полимерами. В данном типе полимеров «оболочка», чаще всего в литературных источниках относящаяся к акриловым полимерам, обеспечивает совместимость с ПВХ, а бутадиен–стирольное «ядро» поглощает и рассеивает энергию ударных нагрузок [15].

Существует несколько причин смешивания ПВХ с сополимерами типа акрилонитрил–бутадиен–стирол (АБС): улучшение технологичности, механических свойств и вязкости при низких температурах. Хорошие свойства этих смесей обусловлены смешиваемостью между ПВХ и САН-частью АБС-сополимера. Сополимеры, содержащие от 11,5 до 26% акрилонитрила, совместимы с ПВХ [4]. В некоторых случаях АБС может быть заменен на сополимер акрил–стирол–акрилонитрил (АСА) для получения улучшенной смешиваемости и атмосферостойкости [2].

Данные смеси, обычно содержащие 30–60% ПВХ, чаще всего используются для переработки методами экструзии, каландрования, литья под давлением и формования с раздувом. Спектр получаемых изделий довольно широк. Это могут быть бутылки, листы для наружной рекламы, оконная фурнитура, кабели и шланги, печатные формы и ролики, подошвы для обуви, профили, коаксиальные кабели и т.д. [2].

Сополимеры акрилонитрил–бутадиен–стирол (АБС), метакрил–бутадиен–стирол (МБС) и стирол–бутадиен–стирол (СБС) используются в технологии переработки поливинилхлорида в качестве модификаторов ударной прочности. В зависимости от необходимости получения определенных физико-механических свойств, данные сополимеры вводятся в состав ПВХ-рецептуры в количестве 1–10%.

Наилучшей совместимостью с ПВХ обладает сополимер метакрил–бутадиен–стирол (МБС), в связи с чем данный сополимер чаще всего используется для улучшения прочностных характеристик прозрачных жестких изделий из ПВХ. Дозировка может варьироваться от 1 до 5% [12]. При переработке древеснонаполненных ПВХ-композиций дозировка МБС-модификатора ударной прочности может достигать 10% [16].

Интересным является влияние данных сополимеров на теплостойкость получаемых изделий. Температура стеклования САН ненамного превышает температуру стеклования ПВХ, поэтому сильное повышение теплостойкости невозможно. Однако более значительную теплостойкость можно достигнуть, если часть стирола в САН заменить на α -метилстирол (АМС). Поли-АМС имеет температуру стеклования около 170°C, в то время как для полисти-

рола она чуть превышает значение в 100°C. Добавление АМС для получения трехкомпонентного сополимера может повысить температуру стеклования и, таким образом, быть более эффективным в качестве добавки для ПВХ [4].

Смеси ПВХ с полиолефинами

Поливинилхлорид полностью несовместим с полиолефинами. При переработке смесей, содержащих даже малые количества примесей полиолефинов в ПВХ-композиции, отмечается нестабильность течения расплава, а полученное изделие имеет множество поверхностных и внутренних дефектов: воздушные включения, шероховатости, чешуйки и др.

Так как полиэтилен и поливинилхлорид наиболее часто по сравнению с другими крупнотоннажными полимерами используются в производстве одноразовой упаковки и тары, наиболее остро стоит вопрос вторичной переработки этих двух материалов. В связи с этим существует множество исследований возможности совмещения ПВХ с ПЭ в расплаве и получения из них композиционных изделий.

В качестве совместителей ПВХ с ПЭ чаще всего предлагаются полимеры, имеющие сродство как с ПВХ, так и с ПЭ. К примеру, аморфные сегменты хлорированного полиэтилена (ХПЭ) могут взаимодействовать с ПВХ, а его кристаллические сегменты могут вступать во взаимодействие с ПЭ [17].

По причине принципиальной несовместимости коммерческих смесей данных полимеров не существует. Большинство исследовательских работ, связанных со смесями ПВХ с полиолефинами, нацелены на разработку совмещенных систем для переработки вторичного сырья.

Существует несколько подходов к компатибилизации, среди которых можно выделить три основных [18]:

- введение в систему графт- или блок-сополимера, совместимого с каждым из полимеров в смеси;
- введение в смесь реакционного полимера, например, малеинизированного полиолефина [19];
- введение низкомолекулярных реакционно-способных соединений (ангидриды, пероксиды и т.д.).

В литературе встречаются и другие способы совмещения полимеров, такие как совмещение под действием сдвиговых усилий, путем введения в систему мономеров или при помощи предварительной обработки несовместимых компонентов коронным разрядом. Но эти и подобные им методы являются весьма сложными и дорогостоящими, поэтому используются крайне редко.

Пример использования специального блок-сополимера для совмещения ПВХ с ПЭВП приведен в работе [20]. Введение 1% сегментированного бутадиен-стирол-со-акрилонитрил-бутадиен блок-сополимера (рис. 1), содержащего 20% акрилонитрила, в смесь ПВХ/ПЭВП (90/10) приводит к значительному росту прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве, а также к улучшению морфологии данной смеси полимеров.

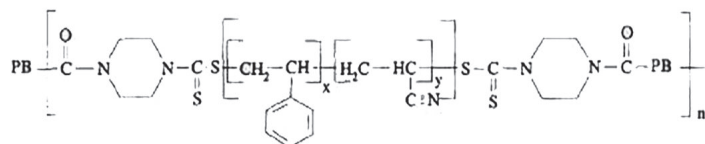


Рис. 1. Структурная формула сополимера бутадиен-*b*-стирол-акрилонитрил-*b*-бутадиена (ПБ-*b*-САН-*b*-ПБ).

В статье [20] также отмечена зависимость физико-механических характеристик совмещенной смеси от содержания стирол-акрилонитриловых звеньев в макроцепи полимера-совместителя. Чем выше содержание звеньев стирол-акрилонитрила, тем выше показатель прочности готового изделия при растяжении и выше относительное удлинение при разрыве, из чего авторы статьи делают вывод, что совместимость увеличивается за счет возникновения взаимодействия полиэтилена с акрилонитрилом.

Похожих результатов добились исследовательская группа университета Нанкай, опубликовавшая результаты [21] по совмещению смеси ПВХ с ЛПЭВП при помощи блок-сополимера гидрированного полибутадиена с полиметилметакрилатом. Степень совместимости ПВХ с ПЭ оценивалась по изменению физико-механических свойств (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что чем выше степень совместимости двух полимеров, тем выше физико-механические свойства готовых изделий. По характеру кривой можно судить, что одним из ограничений при совмещении полимеров является количество активных сегментов полимера-совместителя, взаимодействующих с совмещаемыми полимерами.

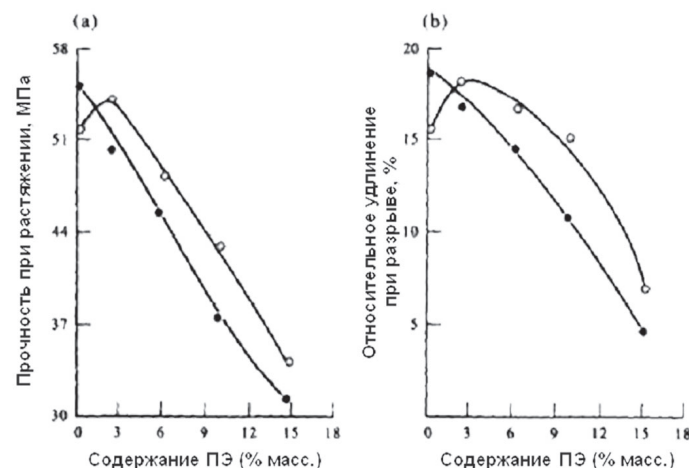


Рис. 2. Изменение физико-механических свойств смеси ПВХ/ПЭ в зависимости от содержания ПЭ [21].

Наиболее распространенным компатибилизатором для смесей ПВХ с полиолефинами считается хлорированный полиэтилен (ХПЭ). Он не является особенно эффективным компатибилизатором, поскольку в действительности не ожидается, что равномерно хлорированный полимер будет проникать в обе фазы на критическую длину зацеплений. Однако это свойство улучшается при использовании более гетерогенного ХПЭ [4]. В статье [17] приводится пример совмещения ПВХ с полиолефинэластомерами (ПОЭ) посредством введения блочного и статистического хлорированного полиэтилена (*b*-ХПЭ и *г*-ХПЭ). В статье отмечается, что блочный хлорированный полиэтилен показывает большую эффективность в качестве компатибилизатора ПВХ с ПОЭ в связи с более регулярной структурой данного полимера, что проявляется в большей прочности на разрыв и более равномерной морфологии.

Влияние низкомолекулярных соединений рассмотрено в работе [22]. В статье рассматривают эффект введения в смесь ПВХ с линейным полиэтиленом высокой плотности (ЛПЭВП) акриловой кислоты, малеинового ангидрида в присутствии фенольной смолы и *p*-фенилен диамина. Авторы [22] считают оптимальным соотношением ПВХ/ЛПЭВП 20/80 и отмечают значительный рост вязкости данной композиции, из чего делают вывод о том, что в присутствии вышеперечисленных добавок-компатибилизаторов образуются межмолекулярные сшивки между поливинилхлоридом и полиэтиленом. Отмечается также улучшение физико-механических характеристик данной смеси.

В ряде работ [23–25] отмечается сильное влияние пероксида дикумила и триаллил изоцианурата на упрочнение смесей на базе ПВХ с ПЭНП. В работе [23] также отмечается, что введение НБК в смесь ПВХ/ПЭНП/пероксид дикумила приводит к лучшему перемешиванию фаз несовместимых полимеров и улучшает доставку пероксида дикумила на границу раздела фаз.

Пример влияния физической обработки компонентов смеси приводится в работе [26], описывающей результаты эксперимента по изучению смесей ПВХ с ПЭ, совмещенных за счет обработки неплазменного полиэтилена плазменным разрядом. Суть описанного эксперимента заключалась в поверхностной обработке полимера при помощи плазмы с целью получения химических связей, которые обеспечивали бы совместимость ПВХ с ПЭ, а также в получении гомо/графт полимеров – совместителей при помощи плазменной обработки (полимеризация в плазме). Эффективность совместимости оценивалась по изменению физико-механических параметров и поверхностной энергии. Авторы данной работы делают выводы, что обработка полиэтилена перед смешением его с ПВХ приводит к повышению совместимости за счет образования межмолекулярных сшивок и снижения поверхностного натяжения между двумя полимерными фазами.

Смеси ПВХ с хлорированными полимерами

Самым распространенным хлорированным полимером, используемым для получения смесей с ПВХ, является хлорированный полиэтилен.

Смеси ПВХ с хлорированным полиэтиленом (ХПЭ) были запатентованы и коммерциализированы в 1956 году. Тройные сплавы, а именно из ПВХ с ХПЭ и поли-(метилметакрилат-бутилакрилат) (ММБА), были разработаны в 1977 году. Эти смеси использовались для наружных применений, огнестойких настенных покрытий и автомобильных интерьеров. Компаунды для лития под давлением используют для производства канализационных люков, дорожных отражателей, скамеек и т.п. [2].

Хлорированный полиэтилен (ХПЭ) чаще всего используется при производстве изделий из жесткого ПВХ в качестве модификатора ударопрочности и перерабатываемости.

В технологии переработки ПВХ обычно используют ХПЭ с диапазоном содержания хлора 28–40%. При этом стоит учитывать, что свойства ХПЭ зависят от способа хлорирования и содержания хлора (см. табл. 1).

Таблица 1. Зависимость температуры размягчения хлорированного полиэтилена от способа хлорирования и содержания хлора в полимере [27].

Условия хлорирования ПЭНП	Температура размягчения хлорированного полиэтилена (ХПЭ), °C						
	0% Cl	8% Cl	28% Cl	40% Cl	50% Cl	60% Cl	73% Cl
ПЭНП хлорированный в растворе	90	69	20	20	40	157	181
ПЭНП хлорированный в суспензии	90	79	65	69	77	177	184

Смеси ПВХ/ХПЭ также применяют в облицовке водоемов и в кровельных материалах. Смеси производятся на базе частично кристаллических типов ХПЭ. Композиция может быть вулканизованной или термопластичной. ПВХ добавляют как усиливающий полимер. Такие смеси обычно получают в смесителе Бэнбери или в другом подобном закрытом смесителе [3].

Смеси ПВХ с поликетонами

Поликетоны представляют собой чередующиеся сополимеры этилена или пропилена с оксидом углерода (рис. 3).

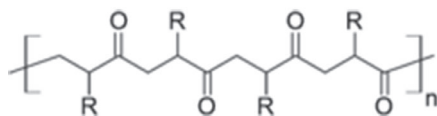


Рис. 3. Общая химическая структура поликетона.

Температуры стеклования поликетонов не очень далеки от комнатной температуры, поэтому их можно использовать в качестве добавок к рецептурам эластичного полимера, содержащего пластификаторы [4]. Первые смеси ПВХ с сополимером этилена и монооксида углерода были разработаны в 1960 году с целью снижения вязкости расплава. Позже составы были модифицированы – ПВХ смешивали с сополимером этилен-монооксидом углерода с винилацетатом (СОРО-ВАс), показавшим лучшую совместимость с ПВХ [2].

Смеси ПВХ с полиуретаном

Термопластичные полиуретаны (ТПУ) – это блоксополимеры армирующих жестких изоцианатных сегментов, чередующихся с мягкими сегментами простых или сложных полиэфиров. Их основные свойства включают эластичность, высокую прочность и выдающееся сопротивление истиранию. В смесях ПВХ/ТПУ обычно используются уретаны на основе сложных полиэфиров. Они более совместимы и показывают лучшее течение, но имеют относительно плохую водостойкость [3].

Для вторичной переработки ПВХ применяется смесь ПВХ с пластифицированным диоктилфталатом (ДОФ) и/или эпоксицированным соевым маслом, смешанным с ТПУ и/или СЭВА. Данную рецептуру вспенивают в экструдере или в литьевой машине. По-

лученный материал используют для производства нескользящей обуви с хорошей стойкостью к истиранию [2].

Смеси ПВХ с инженерными пластиками

Из-за плохой термостабильности ПВХ при его переработке следует избегать высокотемпературного смешивания. Известно только несколько смесей ПВХ с инженерными пластиками.

Первая коммерческая смесь этого типа – Cylon™. В ней ПВХ – это матрица, а полиамид (ПА), который плавится ниже 215°C – дисперсная фаза. Эти два полимера совместимы в присутствии пластификатора Elvaloy™ (терполимер этилена, оксида углерода и акрила). Эти мягкие или полужесткие сплавы были коммерчески доступны для покрытия проволоки, применения в автомобилестроении и в выдувном формовании. Они устойчивы к воздействию пламени, истиранию и химическим веществам, просты в обработке и прочны [2].

В статье [28] обсуждается производство мембран на базе смеси ПВХ с поликарбонатом (ПК) методом термически индуцированного разделения фаз. Отмечается улучшение течения потока сквозь мембрану и повышение стойкости к обрастанию. Также были улучшены гидрофильность и прочность на разрыв.

Смеси ПВХ с биодеструктурируемыми полимерами

Сравнительно новым направлением разработки и исследования полимерных смесей является получение смеси крупнотоннажных полимеров (ПЭ, ПП, ПВХ, ПС и т.д.) с биодеструктурируемыми полимерами. Данный подход может привести к получению упаковочных материалов с приемлемыми потребительскими свойствами, низкой ценой и более высокими экологическими показателями.

При рассмотрении вопроса экологичности упаковки не следует останавливать внимание только на возможности её биоразложения. Существует множество факторов, делающих вклад в экологичность материала: затраты нефти, воды и энергии на получение единицы продукции, а также выбросы углекислого газа при производстве, транспортировке, переработке и утилизации изделий из полимерных материалов. Последний показатель определяется как углеродный след и выражается в количестве парниковых газов (ПГ), образующихся в результате деятельности человека [29].

Для синтеза большинства биоразлагаемых полимеров используют возобновляемые ресурсы, получаемые из растительного сырья, такие как глюкоза, сахароза, метанол, этанол, тростниковая патока, молочная сыворотка и т.д. [30–31]. Большим преимуществом является тот факт, что при производстве сырья для синтеза биополимеров углекислый газ поглощается, а не выделяется.

Поливинилхлорид имеет значительное преимущество над полиолефинами, так как на 57% состоит из хлора, что уже немного повышает его экологичность из-за меньших расходов углеводородов на синтез [4]. Также смешение с полимерами, полученными из возобновляемых источников, может приводить к улучшению термической стабильности ПВХ, что, в свою очередь, может приводить к снижению требуемой дозировки термостабилизаторов [32], некоторые группы которых имеют очень низкие экологические параметры.

Соответственно, разработка полимерных смесей ПВХ с биодеструктурируемыми полимерами может привести к получению материалов со сниженным углеродным следом и с меньшим расходом невозобновляемых ресурсов.

Литература

- Braun D. Recycling of PVC // Prog. Polym. Sci. – 2002. – № 27. – P. 2171–2195.
- Leszek A., Utracki C., Wilkie A. Polymer blends Handbook. – Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2003. – 2378 p.
- Руководство по разработке композиций на основе ПВХ. / Под ред. Гроссмана Р.Ф. Пер. с англ. под ред. Гузеева В.В. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 608 с.
- Уилки Ч., Саммерс Дж., Даниелс Ч. Поливинилхлорид / Перевод с англ. под ред. Г. Е. Заикова. – СПб.: Профессия, 2007. – 728 с.
- Wypych G. Handbook of plasticizers. – ChemTech Publishing Toronto – New York, 2004. – 687 p.
- Varughese K.T., Nando G.B., De P.P., De S.K. Miscible blends from rigid poly(vinyl chloride) and epoxidized natural rubber // Journal of Material Science. – 1988. – № 23. – P. 3894–3902.

7. Ramesh S., Yahaya A.H., Arof A.K. Miscibility studies of PVC blends (PVC/PMMA and PVC/PEO) based polymer electrolytes // *Solid State Ionics*. – 2002. – № 148. – P. 483–486.
8. Paul D.R., Newman S. *Polymer Blends*. – Academic Press New York San Francisco London, 1978. – 501 p.
9. Suresh S.S., Mohanty S., Nayak S.K. Preparation of Poly (vinyl chloride) / Poly (methyl methacrylate) Recycled Blends: Effect of Varied Concentrations of PVC and PMMA in stability of PVC phase on the Recycled Blends // *Materials Today: Proceeding*. – 2018. – № 5. – P. 8899–8907.
10. Suresh S.S., Mohanty S., Nayak S.K. Preparation and characterization of recycled blends using Poly (vinyl chloride) and Poly(methyl methacrylate) recovered from waste electrical and electronic equipments // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – № 149. – P. 863–873.
11. Ash M., Ash I. *Handbook of Plastic and Rubber Additives*. – Synapse Information Resources, 2013. – 2139 p.
12. Wypych G. *PVC formulary*. – ChemTech Publishing Toronto, 2009. – 299 p.
13. Лавров Н.А., Белухичев Е.В. Использование сополимера этилена с винилацетатом в качестве совместителя поливинилхлорида с полиэтиленом низкой плотности // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. – 2019. – № 5. – P. 19–22.
14. Marais S., Bureau E., Gouanve' F., Ben Salem E., Hirata Y., Andrio A., Cabot C., Atmani H. Transport of water and gases through EVA/PVC blend films—permeation and DSC investigations // *Polymer Testing*. – 2004. – № 23. – P. 475–486.
15. Kann Y., Padwa A. PVC Modification with Biobased Poly(hydroxyalkanoates) // *Journal of Vinyl & Additive Technology*. – 2015. – № 21. – P. 259–271.
16. Kim J.K., Pal K. Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites. – Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2010. – 176 p.
17. Eastwood E.A., Dadmun M.D. Compatibilization of poly(vinyl chloride) and polyolefin elastomer blends with multiblock/blocky chlorinated polyethylenes // *Polymer*. – 2002. – № 43. – P. 6707–6717.
18. Koning C., Van Duin M., Pagnoulle C., Jerome R. Strategies for compatibilization of polymer blends // *Progress in Polymer Science*. – 1998. – № 23. – P. 707–757.
19. Кулезнев В.Н. Смеси и сплавы полимеров / В.Н. Кулезнев. – СПб.: Научные основы и технологии, 2003. – 214 с.
20. Kroeze E., Brinke G., Hadziioannou G. Compatibilization of blends of low density polyethylene and poly(vinyl chloride) by segmented EB(SAN-block-EB)_n block copolymers // *Polymer*. – 1997. – № 38. – P. 379–389.
21. Quig-Ye Z., Bang-Hua Z., Mou-Dao S., Bing-Lin H. Compatibiliz Effect of Poly(Hydrogenated Butadiene-Methyl Methacrylate) copolymer for PVC/LLDPE blends // *Eur. Polym. J.* – 1996. – № 32. – P. 1145–1150.
22. Francis J., George K.E., Joseph R. Chemical modification of blends of poly (vinyl chloride) with linear low density polyethylene // *Eur. Polym. J.* – 1992. – № 28. – P. 1289–1293.
23. Fang Z., Xu C., Bao S., Zhao Y. In situ crosslinking and its synergism with compatibilization in polyvinyl chloride/polyethylene blends // *Polymer*. – 1997. – № 38. – P. 131–133.
24. Kurian P., George K.E., Francis D.J. Radiation Crosslinking of HDPE/LLDPE Blends in the Presence of Dicumyl Peroxide // *Journal of Elastomers & Plastics*. – 1993. – № 25. – P. 12–21.
25. George K.E., Francis D.J. Studies on PVC/LLDPE Blends // *Journal of Elastomers & Plastics*. – 1992. – № 24. – P. 151–166.
26. Akovali G., Torun T.T., Bayramli E., Erin N.K. Mechanical properties and surface energies of low density polyethylene-poly(vinyl chloride) blends // *Polymer*. – 1998. – № 39. – P. 1363–1368.
27. Энциклопедия полимеров. / Под ред. Каргина В.А. – М.: Сов.энц., 1972. – 1224 с.
28. Behboudi A., Jafarzadeh Y., Yegani R. Polyvinyl chloride/polycarbonate blend ultrafiltration membranes for water treatment // *Journal of Membrane Science*. – 2017. – № 534. – P. 18–24.
29. Muthu S.S. *The Carbon Footprint Handbook*. – CRC Press, 2016. – 533 p.
30. Sin L.T., Rahmat A.R., Rahmat W.A. *Poly(lactic Acid – PLA Biopolymer Technology and Application*. – Plastic Design Library, 2012. – 341 p.
31. Reddy C.S.K., Ghai R., Rashmi Kalia V.C Polyhydroxyalkanoates: an overview // *Bioresource Technology*. – 2003. – № 87. – P. 137–146.
32. Лавров Н.А., Ксенофонов В.Г., Белухичев Е.В. О механизме стабилизации поливинилхлорида (обзор) // *Пластические массы*. – 2016. – № 11–12. – P. 16–20.