

лагается вводить в реактор на стадии синтеза. Ранее было установлено, что введение малых количеств полимера (до 3,25 % масс.) в исходную реакционную смесь приводит к интенсификации синтеза волокнообразующего полимера [1, 2].

С целью оценки возможности использования добавок полимера в исходной реакционной смеси в условиях реального технологического процесса было оценено влияние добавок полимера на молекулярно-массовые характеристики образующегося в результате синтеза волокнообразующего полимера. Наши исследования показали, что введение в исходную реакционную смесь добавок полимера, активирующего процесс полимеризации, не приводит к снижению молекулярной массы, а наоборот, незначительно ее повышает. Так, в условиях технологических испытаний синтезируемого в диметилформамиде поли[АН–со–МА–со–АМПС] характеристическая вязкость полимера возрастает с 1,0 до 1,2 уд. ед. Этот факт был объяснен с позиций теории снижения доли квадратичного обрыва кинетической цепи при повышении вязкости реакционной среды.

На основании полученных результатов предложено вводить в исходную реакционную смесь до 3,25 % (масс.) отходов полимера, что позволит сократить индукционный период стадии синтеза и уменьшить производственные затраты на получение волокнообразующего полимера без снижения его молекулярной массы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Щербина, Л.А. О влиянии малых добавок «мертвых» макромолекул на эффект ускорения гомофазного синтеза полярных полимеров / Л.А. Щербина, Б.Э. Геллер, А.Г. Харитонович, В.С. Халейко // «Доклады Академии наук». – 2008. – Т. 422. – № 1. – С. 63-66.

2 Щербина, Л.А. Координационно-радикальный механизм иницирования свободно-радикальных процессов гомофазного синтеза волокнообразующих терсополимеров акрилонитрила / Л.А. Щербина, Б.Э. Геллер, А.Г. Харитонович, В.С. Халейко // «Доклады Национальной академии наук Беларуси». – 2008. – Т.52. – № 5. – С.64-67.

УДК 678.024

Е.З. Хрол, ст. преп., канд. техн. наук;  
А.Ф. Петрушеня, ст. преп., канд. техн. наук;  
М.М. Ревяко, проф., д-р техн. наук;  
(БГТУ, г. Минск)

## **УТИЛИЗАЦИЯ СМЕШАННЫХ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

Вопросам утилизации отходов производства и потребления с каждым годом уделяется все большее и большее внимание. Это связано с тем, что выпускаемая продукция всегда имеет ограниченный срок эксплуатации, и после завершения этого срока должна утилизироваться. С другой стороны, объемы производства продукции с каждым годом постоянно увеличиваются, а следовательно и количество отходов, которые необходимо утилизировать, также растет. Особенно актуальна эта проблема для сферы переработки пластмасс, так как отсутствие системы утилизации полимерных отходов приводит к нанесению значительного ущерба окружающей среде – в естественных условиях пластиковый мусор разлагается в течение очень долгого времени (десятки и сотни лет).

Прогрессивные схемы рециклинга полимерных отходов предполагают отдельный сбор такого мусора и использование его в качестве вторичного сырья при производстве новой продукции. Однако во многих случаях пластиковый мусор утилизируется вместе с отходами других типов путем захоронения на специализированных полигонах. Намного более эффективно было бы применять такие использованные изделия для целей производства новой продукции, т.е. организовывать систему рециклинга отходов.

Наиболее существенной проблемой, с которой сталкиваются при рециклинге полимерных отходов, является наличие в них различных посторонних компонентов. Процессы переработки смесевых отходов существенно затрудняются.

Другой немаловажной проблемой является протекание необратимых химических реакций, изменение молекулярной структуры и ухудшение свойств полимерных материалов, протекающих из-за воздействия различных факторов – тепла, света, проникающей радиации, кислорода, влаги, агрессивных химических агентов, механических нагрузок, в процессе эксплуатации изделия и при хранении и переработке полимерных материалов. С целью сохранения и регулирования свойств в полимерные материалы, подвергаемые вторичной переработке, вводят различные технологические добавки [1].

Одним из типов отходов, которые перерабатываются не очень эффективно, являются смешанные полимерсодержащие отходы, получаемые в результате дробления аккумуляторных батарей на ОАО «Белцветмет». До недавнего времени такие материалы вторично перерабатывались лишь частично. Значительная часть этого материала утилизировалась на полигонах. Ранее в рамках проведения исследова-

ний был тщательно изучен состав подобных материалов и оценена возможность использования их для производства новой продукции [2, 3]. Отходы, получаемые в результате дробления аккумуляторных батарей, можно разделить на два типа: жесткие отходы, полученные при измельчении корпусов батарей (КАБ); гибкие отходы, полученные при измельчении внутренних пластмассовых компонентов батарей (ПОАБ). До недавнего времени на предприятии вторично использовались для производства новой продукции только КАБ, в то время как ПОАБ (примерно 20% от общей массы полимерсодержащих отходов) подвергались утилизации путем захоронения на полигонах.

Такая схема является неэффективной как с экологической, так и с экономической точки зрения. В результате исследований, направленных на изучение физико-механических и технологических характеристик композиционных материалов, получаемых на основе отходов указанного типа, было выявлено, что материалы на основе КАБ, в которых ПОАБ используется в качестве наполнителя, обладают высокими эксплуатационными свойствами [4]. Такие композиты вполне могут использоваться для производства ответственных изделий технического назначения. Методом литья под давлением подобные изделия могут изготавливаться из композиций на основе КАБ, содержащих до 20 мас.% ПОАБ. Такие смеси обладают достаточно высокой текучестью (высокое значение ПТР) и приемлемыми механическими характеристиками. При увеличении содержания в композиции ПОАБ свойства материалов снижаются в большей степени, что не позволяет использовать их для получения качественных литьевых изделий.

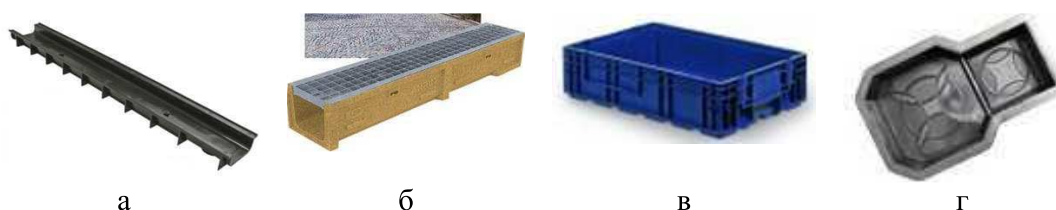
В результате проведения исследований был также предложен оптимальный режим переработки подобных композиционных материалов методом литья под давлением. Некоторые из наиболее важных параметров переработки материалов представлены в таблице 1 [5].

В работе предложены модифицирующие добавки для регулирования свойств разрабатываемых композиций. В качестве модифицирующей добавки применялся суперконцентрат меловой добавки марки EFPP 1001, производства ОДО «Поликонта», который часто выступает в полимерных композициях в качестве наполнителя, однако при введении его в количестве до 3% по массе в композицию КАБ, наполненную 5% ПОАБ, эта добавка повышает технологичность и облегчает переработку материала. Для устранения негативного влияния повторной переработки в композиции вводилась добавка суперконцентрата стабилизатора марки ПО АО-11 в количестве 1 % [5].

**Таблица 1 – Оптимальные параметры переработки композиций на основе КАБ и ПОАБ методом литья под давлением**

Параметр процесса литья под давлением	Значение параметра
Температура литья, °С	220–240
Температура формы, °С	40–60
Давление литья, не менее, МПа	120
Время охлаждения (в зависимости от толщины изделия), с	30–60
Время выдержки под давлением (в зависимости от толщины изделия), с	4–12

В работе также были предложены варианты конструкций изделий, которые потенциально могут получаться из предложенных композиций методом литья под давлением. Так, в частности, материалы могут применяться для производства широкой номенклатуры изделий технического и строительного назначения, к которым не предъявляется особо жестких требований. Из композиционных материалов могут, например, получаться формы для плитки тротуарной, лотки для водоотвода, каналы для сточных вод, дренажные желоба, поддоны, контейнеры, ящики и другие изделия (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Примеры изделий, которые потенциально могут получаться из композиций на основе КАБ и ПОАБ: лоток водоотводной (а), канал для сточных вод (б), контейнер (в), форма для тротуарной плитки (г)**

Таким образом, в работе предложен эффективный способ использования смешанных полимерсодержащих отходов, получаемых в результате измельчения аккумуляторных батарей и состав композиций на их основе. С помощью предложенного способа можно полностью использовать такие отходы для целей производства новой продукции, в частности изделий технического назначения, к которым не предъявляется особо жестких требований. Это позволяет предприятию получать дополнительную экономическую выгоду, и при этом не затрачивать средств для утилизации отходов на специализированных полигонах. В результате этого можно также достигать положительного экологического эффекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Липик В. Т. Рециклинг и утилизация полимерных отходов: монография / В. Т. Липик, Н. Р. Прокопчук. – Минск: БГТУ, 2008. – 290 с.

2. Перспективы использования смешанных полимерных отходов аккумуляторных батарей для формования изделий / О. И. Карпович [и др.] // Труды БГТУ. Серия IV. Химия, технология органических в-в и биотехнология. – 2012. – № 151. – С. 3–6.

3. Состав и структура полимерсодержащих отходов ОАО «Белцветмет» / О. И. Карпович [и др.] // Труды БГТУ. Серия IV. Химия, технология органических в-в и биотехнология. – 2015. – № 177. – С. 74–77.

4. Физико-механические свойства композиционных материалов на основе полимерсодержащих отходов, образующихся в ОАО «Белцветмет» / О.И. Карпович [и др.] // Труды БГТУ. Серия IV. Химия, технология органических в-в и биотехнология. – 2015. – № 177. – С. 78–82.

5. Пучинская, Е.П. Вторичная переработка полимерсодержащих отходов / Е.П. Пучинская, Е.З. Хрол, А.Ф. Петрушеня // Сборник материалов шестьдесят девятой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием – Ярославль, 20 апреля 2016 г. / Министерство образования и науки РФ [и др.]; редкол.: И.Г. Абрамов [и др.]. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2016. – Электронное издание – С. 929–933.

УДК 541.6.678

Э.Т. Крутько, проф., д-р техн. наук;  
Т.А. Жарская, доц., канд. техн. наук;  
М.В. Журавлева мл. научн. сотр.  
(БГТУ, г. Минск)

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ФОРПОЛИМЕРОВ ПОЛИИМИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

Полиимиды это относительно новый класс термостойких полимеров. Благодаря комплексу уникальных свойств – высоким деформационно-прочностным характеристикам, термостойкости, диэлектрическим свойствам, сохраняющимся в широком температурном интервале от – 200°С до + 500°С и выше, ароматические полиимиды нашли широкое применение во многих отраслях новой техники и технологии.