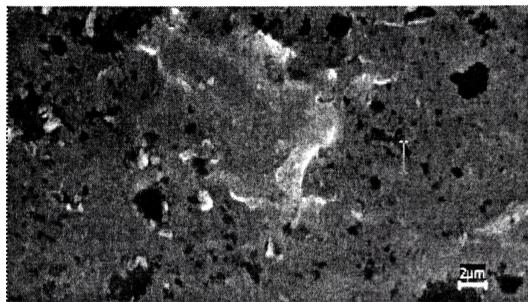




а



б

Рис. 11. РЭМ изображение поверхности алюминиевой фольги: а — соприкасающаяся с нанопорошками; б — обратная сторона

Таким образом, показана возможность внедрения углеродных наночастиц в металлы методами импульсной ударно-волновой обработки.

Выводы

1. Апробированы различные методы (электродуговой, гальванический, металлургический, испарения и конденсации в вакууме, импульсной ударно-волновой обработки), обеспечивающие

внедрение углеродных наночастиц в металлы с целью их модификации.

2. Показано, что введение фуллеренов в металлы даже в небольших долях (до 1,0 мас.%) существенно (в некоторых случаях в разы) изменяют их физические и физико-химические свойства.

3. Кластерное структурирование расплавов галлия углеродными наночастицами (C₆₀ и УНТ) создает сеть внутренних поверхностей, которые препятствуют образованию зародышей критического размера.

Литература

1. Шпилевский М.Э., Шпилевский Э.М., Стельмах В.Ф. Фуллерены и фуллереноподобные структуры — основа перспективных материалов // ИФЖ. 2001. Т. 74, № 6. С. 106–112.
2. Трефилов В.И., Щур Д.В., Тарасов Б.П. и др. Фуллерены — основа материалов будущего. — Киев: АДЕФ, 2001. — 148 с.
3. Элиот Р.П. Структуры двойных сплавов. Т. 1. — М.: Металлургия, 1970. — 456 с.
4. Баран Л.В., Шпилевский Э.М., Ухов В.А. Образование фаз в слоях медь-фуллерит при отжиге в вакууме // Вакуумная техника и технология. 2004. Т. 14. № 1. С. 41–46.
5. Дрозд А.С., Матюшков В.Е., Стельмах В.Ф., Шпилевский Э.М. Дуговая установка для производства фуллеренсодержащего продукта // Фуллерены и фуллеренсодержащие материалы. Минск: УП «Технопринт». 2001. С. 143–149.

УДК 678.027.028.6.574.502

ТЕХНОЛОГИИ РЕЦИКЛИНГА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ОБЗОР)

Кудян С.Г.¹, Шаповалов В.М.², Таврогинская М.Г.², Мышкин Н.К.²

¹ Специальное конструкторско-технологическое бюро «Металлополимер», г. Гомель

² Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель

В статье представлены современные технологии и оборудование для рециклинга полимерных материалов и тенденции развития этого направления. Показано, что сложность в развитии таких технологий связана с трудностями рециклинга отходов полимерных материалов на традиционном оборудовании и требует создания нового или усовершенствованного оборудования, учитывающего специфику переработки полимерных отходов.

Введение

В мире существует свыше 400 видов отходов производства в т.ч. и отходов полимерных мате-

риалов. [1]. При этом их объемы возрастают. Возникает проблема утилизации отходов, а соответственно, и угроза загрязнения окружающей

среды. Учитывая специфические свойства полимерных материалов (ПМ) (они не подвергаются гниению и коррозии) решение этой проблемы носит, прежде всего, экологический характер [1–5]. Универсального решения экологической проблемы даже в экономически развитых странах пока не найдено. Причина такого положения обусловлена необходимостью применения к ней комплексного подхода, включающего социально-экономическую, научно-техническую и другие составляющие.

Действующая на протяжении всей человеческой истории схема «добыча–переработка–употребление–отходы» становится в настоящее время все менее приемлемой вследствие недостаточного решения вопросов экологии и ресурсосбережения, а также дефицита земли, требуемой для захоронения отходов. Одним из эффективных путей решения этой проблемы, который бы позволил сократить поток отходов на свалки, является их механический рециклинг в продукты, обладающие потребительской ценностью [1, 2]. Способность термопластичных ПМ многократно перерабатываться без существенного ухудшения их свойств является одним из их Достоинств, что в особенности важно для решения проблемы полимерных отходов [6, 7].

Эффективность рециклинга полимеров во многом определяется уровнем научно-технической оснащенности [4, 9–11]. Поэтому разработка новых высоких технологий утилизации и создание специализированного энергосберегающего перерабатывающего оборудования являются важными задачами в решении этой проблемы.

Состояние проблемы

Отходы ПМ можно разделить на три большие группы (табл. 1):

1. Отходы производства, которые образуются при осуществлении процессов синтеза и переработки полимеров. Это — низкомолекулярные фракции полимеров, отходы в виде слитков-выливов, отходов чистки аппаратов, россыпей, бракованные изделия, литниковые системы. В большинстве случаев эти отходы могут быть модифицированы и использованы как вторичное полимерное сырье для производства изделий с невысоким уровнем требований к свойствам материала или для специальных целей.

2. Отходы производственного потребления. Это различная тара и упаковка, детали вышедшие из употребления и т.п. Отходы полимеров можно подразделить на: медицинские; биологические; строительные; отходы транспортного комплекса; промышленные [1, 8–11, 13].

Таблица

Структура отходов полимерных материалов

Группа отходов	Источник образования отходов	Состав отходов	Загрязненность	Вид и форма
Отходы производства	Предприятия, перерабатывающие полимерное сырье	Однотипные	Чистые	Слитки полимера, литники, кромки, облой, куски пленки полученные при запуске оборудования, бракованные изделия и т.п.
	Предприятия, обрабатывающие изделия из пластмасс (вакуумным формованием, раздувом и т.п.)	Однотипные	Чистые	Обрезь листов, пленки, забракованные изделия, куски листа, пленки и т.п.
Отходы потребления				
1. Отходы потребления предприятий	Предприятия общественного питания, пищевые комбинаты, и т.п.	Однотипные	Загрязненные	Тара, куски пленки, куски вспененных материалов, мешки и т.п.
2. Бытовые отходы потребления	Пункты вторсырья, свалки и т.п.	Смешанные и комбинированные материалы	Загрязненные	Вышедшие из употребления изделия, пленка, различная тара и упаковка и т.п.

3. Отходы общественного потребления (твердые бытовые отходы, ТБО) — это изношенные (амортизированные) изделия, которые утратили свои потребительские свойства вследствие физического или морального износа. Это — упаковка, транспортная тара, предметы домашнего обихода и др. Отходы потребления составляют около 85% всех полимерных отходов. Состав и свойства полимерных отходов потребления, как правило, случайны, а их предыстория неизвестна. Переработке подвергается пока ограниченная номенклатура отходов полимеров, включающая главным образом отходы производства и лишь некоторые отходы потребления: отходы чистой полимерной пленки, пластмассовые ящики, ПЭТ-тара и т.п.

Наиболее разработанными процессами переработки отходов пластмасс является изготовление из них вторичного сырья в виде дробленки (или флексов), порошка, агломерата или гранулята для использования, частично или полностью, взамен первичного сырья при получении различных изделий [11, 12].

Номенклатура продукции, изготавливаемой только из вторичного сырья, весьма ограничена и определяется главным образом сложившейся конъюнктурой спроса на такую продукцию с учетом местных условий. В числе продукции, изготавливаемой из вторичного сырья, следует выделить пленку, трубы, сантехнические изделия и др. изделия хозяйственного обихода. Активизируется деятельность по изготовлению из отходов ПЭТ пленки для упаковки технической продукции, дробленки (хлопьев) для поставки на экспорт, лавсанового волокна для текстильной промышленности [9–12].

Предпринимаются попытки изготовления из полимерных отходов некоторых видов продукции строительного назначения в композиции с древесными отходами, макулатурой и текстильными отходами — в виде плит, досок, брусьев, плитусов и т.д. [8, 11].

Повторное использование полимерных отходов связано с тремя основными аспектами:

- организационно-правовой аспект, где наиболее важным представляется организация сбора и сортировки бытовых отходов, а также законодательные акты, стимулирующие работу с утилизацией отходов, как для населения, так и для промышленных предприятий;

- технико-технологический аспект, включающий аппаратно-технологическое обеспечение процесса рециклинга и совершенствование свойств

изделий на основе отходов. Это одно из основных управлений в использовании отходов полимерных материалов для получения изделий функционального назначения с приемлемыми эксплуатационными характеристиками. Сложность в развитии таких технологий связана с тем, что рециклинг не может базироваться на традиционном оборудовании и требует создания нового или усовершенствованного оборудования, учитывающего специфику переработки полимерных отходов;

- эколого-экономический аспект — выбор ассортимента изделий из вторичного сырья для его рационального использования в различных областях народного хозяйства, снижение себестоимости вторичного сырья и обеспечение экологической безопасности.

Решение этих проблем будет являться основой эффективного рециклинга отходов полимеров.

Организационно-правовые аспекты рециклинга

В настоящее время в промышленно развитых странах создана определенная законодательная база в отношении отходов, разработана система их сбора и сортировки, ведется разъяснительная работа с населением [6, 7, 11, 12]. Нормативно-правовая база Республики Беларусь в области обращения с отходами представлена рядом общих документов, регламентирующих обращение с отходами.

Низкий уровень переработки отходов полимерных материалов объясняется, прежде всего, отсутствием системы сбора и рециклинга, где особо следует выделить неразработанность технологий переработки амортизационных изделий, смешанных отходов полимерных материалов, отсутствие специализированных централизованных производств по сбору, сортировке и переработке отходов, отсутствие целенаправленных законодательных актов.

Основополагающее значение имеют: закон «Об охране окружающей природной среды» и закон от 25 ноября 1993 г. «Об отходах производства и потребления». Эти законы регламентируют цели и основные принципы государственной политики в области обращения с отходами, полномочия в этой области органов управления Республики Беларусь, органов местного управления. Разработаны также правовые основы обращения с отходами как с объектом собственности, нормирование, государственный учет и отчетность в области обращения с отходами, правовые основы экологического контроля и экономического регулирования. На базе этих законов приняты соответствующие постановления на областном уровне. Реализация этих зако-

нов осуществляется через Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды и КУП «концерн «Белресурсы», которые определяют стратегию и тактику в области утилизации отходов и экологической безопасности [14]. Этому способствуют комитеты при областных комитетах исполнительной власти и комитеты Госконтроля за обращениями с отходами, а также созданная СМ РБ государственная научно-техническая программа «Ресурсосбережение».

Приняты постановления Совета Министров №№ 261, 269, постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды №№ 9 и 15, в соответствии с которыми производители полимерных изделий должны нести ответственность за утилизацию отходов ПМ. В настоящее время принят также Указ Президента Республики Беларусь № 437 «О некоторых мерах по совершенствованию организации и сбора (заготовки) и использования отходов в качестве вторичного сырья».

В стране действуют и другие нормативно-правовые документы, регламентирующие общие требования в области обращения с отходами.

Особую группу нормативно-правовых документов составляют санитарные правила, нормативно-методические документы санитарно-эпидемиологической направленности, регламентирующие методологию определения класса токсичности отходов, порядок их накопления, обезвреживания и захоронения на полигонах и свалках отходов, обустройство мест накопления и хранения отходов.

Все это позволило начать целенаправленную работу по созданию республиканской системы утилизации различных отходов. В настоящее время создаются предпосылки для формирования специальной трехуровневой системы обращения с отходами. Первые шаги сделаны и на пути раздельного сбора отходов [11, 12, 14]. Во дворах жилых домов, возле магазинов, на рынках устанавливаются контейнеры для сбора отходов ПМ, макулатуры, стекла и т.п. Ведется разъяснительная работа среди населения, для чего используются средства массовой агитации — радио, телевидение, пресса.

Существующие системы сбора отходов в странах Евросоюза, несмотря на определенную свою схожесть, отличаются различными подходами к проблеме. Разработка единой системы сбора отходов в 15 странах Евросоюза оказалась трудно-выполнимой задачей, так как между странами существует определенная разница в экономическом развитии (Германия – Греция), техническом

развитии, подходам к проблемам охраны окружающей среды, инфраструктуре (страны юга: Италия, Греция и страны севера: Швеция, Дания) и т.д. Поэтому разработка Директивы 94/62/ЕС явилась объединяющим началом для выработки общей стратегии и политики во всех странах ЕС по вопросам отходов [8, 9].

На основе Директивы ЕС в европейских странах разработаны свои национальные Указы об охране окружающей среды. Основой программного документа утилизации отходов является совместное участие в этом процессе производителей упаковок и упаковочных материалов, потребителей и распредделителей упаковок при сотрудничестве с общественными организациями и муниципальными властями. Все участники программы могут действовать самостоятельно или создавать специальные организации, которые будут заниматься сборкой и утилизацией отходов. Программа должна финансироваться за счет системы оплаты лицензий, которые зависят от вида упаковки, ее веса и объема, типа материала. Производители, оплачивающие лицензию, на своих изделиях ставят символ — зеленая точка (Green Punkt).

С 1991г. в Германии начал действовать Закон об отходах, который определил ответственность производителя за их утилизацию. Согласно этому закону предложены ограничения для производства одноразовых упаковок в пользу упаковок многократного использования. Определены методы утилизации отходов, наиболее эффективным из которых признан метод рециклинга. Опыт сборки и переработки отходов на основе системы DSD применяется во многих странах. Одним из примеров такого применения является внедрение системы так называемых желтых мешков. Их использование позволяет быстро и качественно рассортировывать пластмассовые отходы [11].

Технологические аспекты рециклинга

Первостепенной задачей в области рециклинга полимеров является усовершенствование технологий и оборудования для вторичной переработки отходов, основанной на использовании материалов в измельченном, агломерированном и гранулированном виде [10–13].

В то же время при переработке полимерных отходов возникает ряд трудностей: слабая оснащенность оборудованием для измельчения крупногабаритных изделий, некондиционных тканей и нитей, пленок, а также недостаточная оснащенность высокоэффективными устройствами для переработки измельченных отходов в гранулят.

Получению качественного гранулята мешает также наличие в отходах химических загрязнений, приводящих к разрыхлению структуры вторичных материалов и, как следствие, — к снижению их физико-механической и химической стойкости. Немаловажными аспектами при подготовке и переработке вторичного сырья являются увеличение мощности, механизация и автоматизация этих процессов, что в целом позволит повысить выходные технико-экономические показатели полимерных отходов при их утилизации. Разработкой совершенных технологий и соответствующего оборудования для их осуществления

занимаются специалисты во всем мире. Определенные успехи в этой области достигнуты и в Республике Беларусь.

Рециклинг полимерных материалов включает: сбор отходов, их сортировку с идентификацией полимера, измельчение, мойку, сушку, агломерацию (для пленочных отходов) и, при необходимости, грануляцию [7–11, 16].

Для селективного сбора отходов разработано и изготавливается множество специальных емкостей: ящики, контейнеры различной конструкции, полиэтиленовые мешки различных цветов и т.п. [11, 12, 35]. В РУП СКТБ «Металлополимер»

(г. Гомель) разработаны и изготавливаются сетчатые металлические, закрытые крышкой контейнеры для сбора полимерных отходов. Эти контейнеры удобны не только для сбора отходов, но и для их транспортировки к местам переработки. Их устанавливают на рынках, возле крупных магазинов, во дворах жилых домов.

Рециклинг упрощен при переработке технологических отходов (рис. 1), которые образуются непосредственно в производстве изделий из пластмасс. Как правило, отходы измельчаются, промываются и сушатся, а при необходимости подвергаются агломерации (пленка). Полученное сырье используется в производстве изделий самостоятельно или в виде добавки к первичному.

Более сложной представляется переработка во вторичное сырье отходов потребления. Основной проблемой является процесс сборки. Кроме того, эти отходы должны подвергаться сортировке, идентификации по видам полимера, измельчению, мойке и сушке, а при необходимости агломерированию и гранулированию с целью получения сыпучего материала с одинаковым гранулометрическим составом.

Очевидно, что для решения перечисленных проблем, связанных с рециклингом отходов ПМ, необходимо соответствующее оборуду-

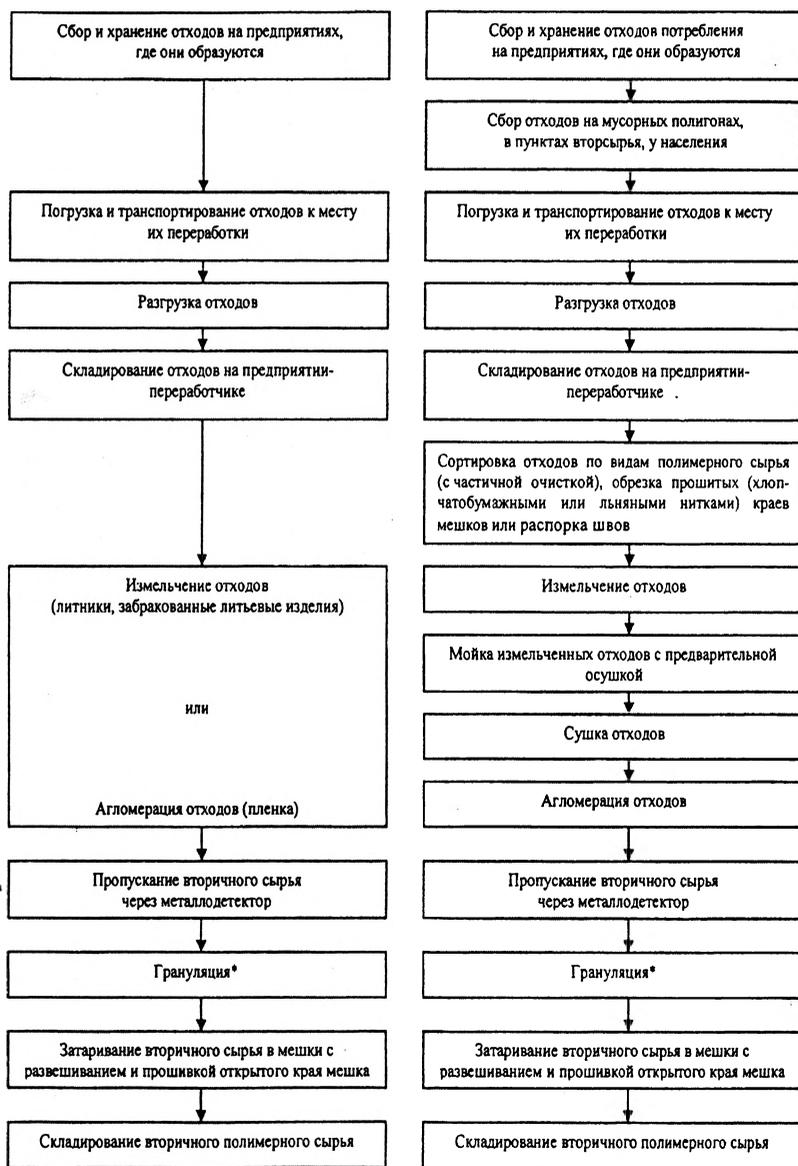


Рис. 1. Схема технологического процесса переработки отходов: а — отходы производства, б — отходы потребления (* — необязательная операция)

дование, учитывающее специфику переработки отходов ПМ.

Сортировка

Процесс утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) предусматривает их предварительную сортировку. Как правило, этот процесс ведется вручную, где каждый рабочий, находящийся на технологической линии, отбирает свой вид отходов. [10, 11]. Минимальная скорость движения ленточного транспортера на линии составляет 0,5 м/мин и зависит от объемов сортируемых отходов.

В СКТБ «Металлополимер» разработаны и изготавливаются мини-сортировочные станции (рис. 2), которые предназначены для выделения из массы ТБО металла, стекла, текстиля, бумаги и полимеров. Сортировка ведется вручную, а количество сортировочных рабочих составляет 8 человек. Принцип работы мини-сортировочной станции заключается в следующем. Мусороуборочные машины разгружают привезенные отходы в загрузочный бункер конвейера. При включенном приводе конвейера, отходы равномерно распределяются по его ленте и подаются на второй конвейер и далее на эстакаду в пункт сортировки. На пункте сортировки каждый сортировщик отбирает с движущегося транспортера свой вид отходов и сбрасывает их в бункер сброса, после заполнения которого, открывается дно бункера и собранные отходы ссыпаются в контейнеры. По мере наполнения контейнеров они вывозятся к местам складирования отходов.

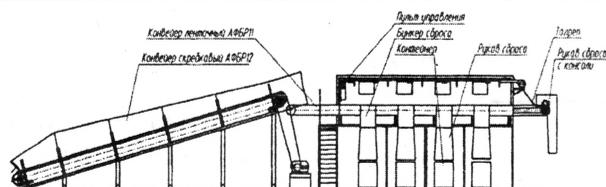
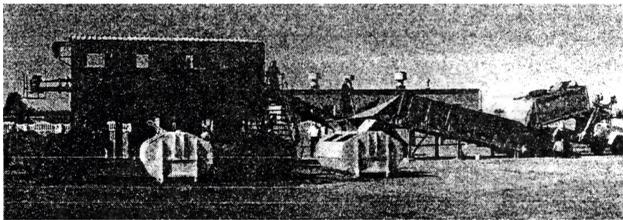


Рис. 2. Технологическая линия для сортировки ТБО

Оставшиеся после сортировки отходы транспортируются конвейером из пункта сортировки и выгружаются в кузов мусоровоза или в контейнер.

Дробление

Для дробления отходов существуют различные типы измельчающих машин: валковые, ножевые,

молотковые и роторные дробилки, мельницы [2, 15–27, 35]. Примером ножевой дробилки служит дробилка с дисковыми ножами и режущим ротором. Она предназначена для получения гранул кубической формы из листовых материалов. Молотковые и роторные дробилки применяют для измельчения как мягких, так и твердых материалов. Механизм дробления основан на энергии удара шарнирно подвешенных на вращающемся роторе молотков (молотковые дробилки) или жесткозакрепленных билов (роторные дробилки) [4]. Для тонкого дробления используются мельницы.

Большое внимание при разработке дробилок для отходов ПМ уделяется снижению уровня шума при их работе, минимизации удельного потребления энергии, автоматизации процесса загрузки, однородности гранулометрического состава получаемой дробленки, скорости и удобства смены ножей и их заточки, мобильности дробилок, их производительности и беспыльной работе, а также универсальности — возможности измельчать на одной дробилке пленку, газонаполненные ПМ, крупногабаритные изделия, литники, пустотелые изделия и т.д.

Выпуск дробилок налажен во многих странах мира. В частности их производят немецкие фирмы: Weima, Wanner Technik GmbH, Heinrich Dreher GmbH & Co, Herbold, Hellweg Maschinenbau GmbH & Co, швейцарские фирмы Nuga AG и Erema, шведская фирма RAPID, белорусский Барановичский станкостроительный завод. Дробилки специальные, фрезерного и ножевого типа выпускает БСЗ ЗАО «Атлант», (Республика Беларусь) и ряд других фирм [35–39].

Выпускаемые немецкой фирмой Hellweg Maschinenbau GmbH & Co валковые дробилки типа Slotter не имеют выходной сетки, частота вращения вала составляет всего 25 об/мин, что полностью исключает термическое повреждение ПМ, Сменные сегментированные ножи вала и корпуса измельчают отходы в частицы с размерами 4–8 мм и производительностью 5–15 кг/ч при мощности привода всего 1,1–2,2 кВт. Эти дробилки могут монтироваться прямо на литейной машине и предназначены для беспылевого измельчения.

В РУП СКТБ «Металлополимер» выпускают универсальные роторные дробилки типа ИУР 200, ИУР 200 В, ИУР 250 и ИУР 250 В (рис. 3).

Конструкция дробилок разработана в соответствии с патентом [25] и предназначена для измельчения различных видов отходов: полимерной пленки, волокнистых материалов, литников, об-

лоя, некондиционных деталей и т.п. Они состоят из установленного на сварной раме корпуса, несущего два неподвижных ножа и установленного в подшипниковых узлах вала с ножевым ротором, приводимым в движение электродвигателем. При измельчении отходы полимерных материалов практически не испытывают термического воздействия, что позволяет сохранить качество вторичного полимера. Дробилки оснащаются различными калибровочными решетками с диаметрами отверстий от 8 до 40 мм. Для измельчения отходов пленки и волокон дробилки также оснащаются высоконапорными вентиляторами, обеспечивающими удаление измельченного материала из зоны резания в бункер-накопитель. После измельчения на дробилках такого типа технологические отходы производства полимерных изделий (кроме отходов пленок, волокон и газонаполненных пластмасс) можно перерабатывать непосредственно в изделия на стандартном перерабатывающем оборудовании.

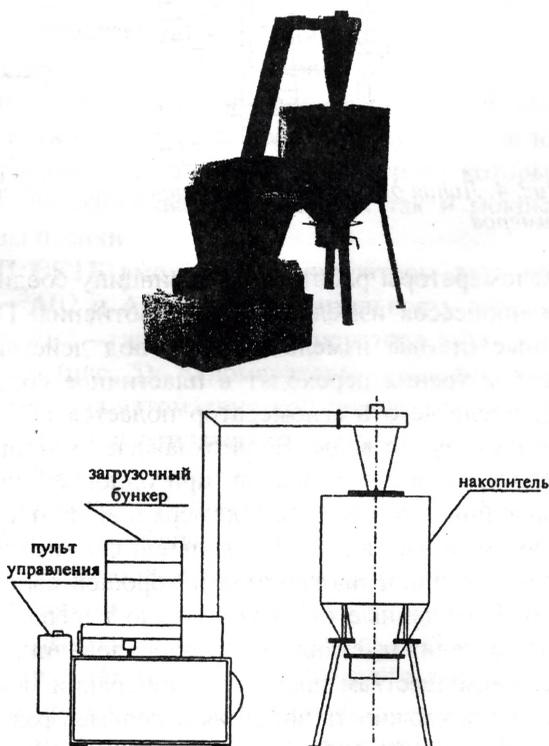


Рис. 3. Универсальная роторная дробилка типа ИУР 250

В последнее время все чаще появляются дробилки, в которых отходы не только измельчаются, но и промываются. Такое оборудование выпускает фирма Herbold [35]. Его используют для дробления отходов ПМ, загрязненных различны-

ми минеральными включениями.

Промывка

Для мойки отходов ПМ используют машины активаторного или барабанного типов. Эффект мойки в машинах активаторного типа достигается за счет интенсивного потока моющей жидкости, создаваемого вращением активаторов. В машинах же барабанного типа этот эффект достигается за счет переваливания полимерного материала в моющей жидкости, при котором создается трение между слоями полимера, а также трение частиц полимера о стенки барабана [37, 41].

При разработке моечного оборудования обращают внимание на снижение количества потребляемой энергии, снижение уровня шума при работе оборудования, увеличение производительности и повышение качества мойки отходов.

Примером устройства активаторного типа может служить оборудование [28], которое содержит активатор в виде полого мобильного понтона с электроприводом внутри, якорь которого соединен с корпусом понтона. При этом корпус выполнен цилиндрическим, а электропривод представляет собой цилиндрический линейный электродвигатель, установленный в корпусе так, что его ось расположена ниже и параллельно оси корпуса.

Интересна линия переработки отходов полимерных материалов [29], в состав которой входит устройство отмывки, выполненное в виде расположенного в корпусе барабана с лопатками, причем оно снабжено лопастями, размещенными в нижней торцевой части барабана, а лопасти и лопатки размещены по спирали Архимеда с постоянным шагом.

Моечная машина, описанная в патенте [30], содержит вертикальный бак с моющей жидкостью и активатор, выполненный из нескольких плоских элементов, каждый из которых закреплен независимо от другого на опоре с возможностью колебания под действием электромагнита-вибратора, установленного с наружной стороны бака. Машина отличается тем, что активатор расположен вдоль вертикальной стенки бака, а опоры его элементов выполнены в виде отдельных пружинящих пластин, закрепленных на внутренней поверхности бака. При этом плоские элементы активатора имеют сквозные чечевицеобразные конусные щели и амортизаторы, равномерно распределенные по площади активатора, а каждая обмотка электромагнита-вибратора разделена на две части, соединенные одна с другой электрически последовательно.

Моечная машина барабанного типа для мойки измельченных отходов полимеров разработанная в Германии [31], выполнена с лопастным ротором, в котором измельченные отходы периодически удаляются из зоны действия ротора, перемещаются вдоль оболочки барабана, а затем снова возвращаются в эту зону. Для удаления отходов из зоны используется центробежная сила ротора, а для осевых перемещений — транспортный шнек, расположенный между ротором и оболочкой барабана.

Линия для мойки измельченных отходов полимеров [32], разработанная и изготавливаемая в СКТБ «Металлополимер» (рис. 4) содержит последовательно соединенные между собой моечную машину, машину разделения, машину споласкивания и баки отстойники. Моечная машина выполнена в виде бака прямоугольной формы с полуцилиндрическим дном, внутри которого проходит вал с рифлеными активаторами. Моечная машина разделена съемными рифлеными перегородками на моечные камеры, сообщающиеся между собой переточными щелями, выполненными в перегородках. Внутри каждой камеры установлен, по меньшей мере, один активатор, а последняя камера снабжена насосом для перекачки вымытого полимера в машину разделения, причем рифленность перегородок и активаторов выполнена таким образом, что она способствует увеличению турбулентности потока, создаваемого активаторами. На крышке моечной машины установлен трубчатый путепровод с насадкой для перемещения вымытого сырья вместе с моечным раствором в машину разделения. Машин разделения и споласкивания выполнены в виде баков прямоугольной формы с транспортирующими шнеками. Транспортирующие шнеки машин разделения и споласкивания подняты под определенным углом в направлении движения полимерного материала. Эффект мойки достигается за счет трения частиц полимера друг о друга и о стенки перегородок и активаторов моечной машины. После споласкивания вымытое сырье поступает в осушитель или на устройство отжима для предварительной осушки — удаления основного количества воды. Пленочные отходы осушиваются с помощью устройства отжима, а отходы в виде флексов и крошки в центробежном устройстве осушки.

Агломерация

Одной из проблем вымытых пленочных отходов является их неравномерная загрузка в перерабатывающее оборудование. Для решения этой

проблемы необходимо их уплотнять, что можно достичь путем агломерации [38, 39].

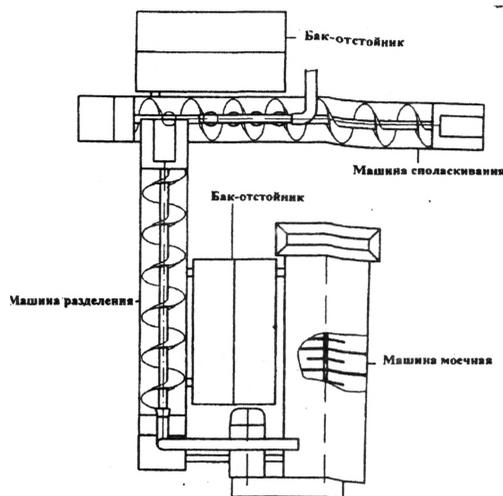
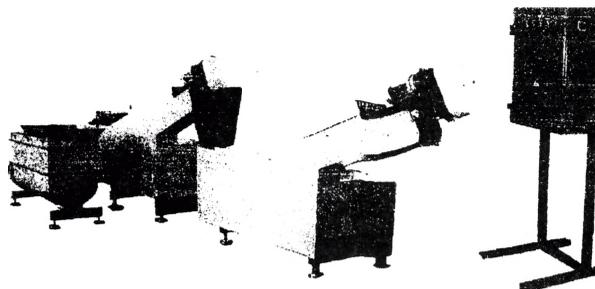


Рис. 4. Линия для мойки измельченных отходов полимеров

Агломераторы работают по принципу соединения процессов измельчения и уплотнения. Пленочные отходы измельчаются и под действием теплоты трения переходят в пластичное состояние, после чего в агломератор подается небольшое количество воды. Вода охлаждает материал, предотвращая его слипание, при одновременном испарении ее в процессе агломерации. Из пленки получаются окатыши произвольной формы с высокой насыпной плотностью и хорошей сыпучестью. Полученные окатыши можно перерабатывать в изделия на стандартном оборудовании.

К преимуществам процесса агломерации можно отнести возможность введения в полимер различных красителей, стабилизаторов, наполнителей и т.п., а также возможность переработки получаемого агломерата в изделия на стандартных машинах без дополнительной грануляции. В процессе агломерации происходит усреднение характеристик ПМ, что очень важно при агломерации отходов потребления, которые характеризуются большой разнородностью свойств, а также при получении различных композиционных материалов на основе

отходов ПМ. Процесс агломерации ПМ протекает без изменения молекулярной массы материала, что также является положительной особенностью агломерации. К недостатком агломерации следует отнести разнородный гранулометрический состав получаемого продукта, затрудняющий равномерное питание перерабатывающего оборудования, высокую энергоемкость процесса, быстрый износ ножей, присутствие в сформованных окатышах газовых включений [11].

В последнее время разработке агломераторов уделяется большое внимание, что обусловлено увеличением объемов производства и применения сельскохозяйственной пленки и различной пленочной упаковки. Конструкция простейшего агломератора состоит из установленной на основании размольной камеры, однороторного или двухроторного механизма измельчения с электроприводом и пультом управления. Перерабатываемые пленочные отходы загружаются в размольную камеру сверху через специальное окно, а готовый продукт – окатыши – выгружается через отверстие в стенке размольной камеры. Усовершенствование агломераторов ведется по пути создания агломераторов непрерывного действия, устройств сочетающих процессы мойки и агломерирования, а также агломераторов, которые легко перерабатывают как сухие, так и мокрые отходы пленки.

РУП СКТБ выпускает агломераторы двух типов — А02 и А03. Производительность агломератора А02 — до 70 кг/ч, агломератора А03 — до 240 кг/ч (рис. 5). Агломераторы оснащены устройством для автоматической подачи охлаждающей воды и вентилятором для удаления паров воды из размольной камеры, циклоном-пылесборником. В комплект агломератора А03 может входить транспортер для загрузки пленочных отходов полимерных материалов.

Грануляция

Положительной особенностью процесса грануляции является то, что он позволяет получать гомогенизированный, однородный по гранулометрическому составу материал с высокой насыпной массой, хорошей сыпучестью и товарным видом. Получение гранул возможно двумя различными методами — методом горячей резки и холодным гранулированием [11, 37–39]. При использовании метода горячей резки пластицированная полимерная масса, выходящая из многоканальной головки, отрезается вращающимся перед головкой ножом и отбрасывается за счет центробежной

силы. Решетка головки и нож размещены в закрытом корпусе, куда для охлаждения гранулята вдувается холодный воздух или создается кольцо из водяного тумана. Горячая резка может быть проведена под водой. [33]. Метод холодного гранулирования заключается в следующем. Выходящие из головки прутки (стренги) протягиваются через ванну охлаждения заполненную водой и с помощью тянущего устройства подаются к гранулирующему устройству, где разрезаются на гранулы длиной 3–5 мм. В некоторых грануляторах стренги охлаждаются орошением водой.

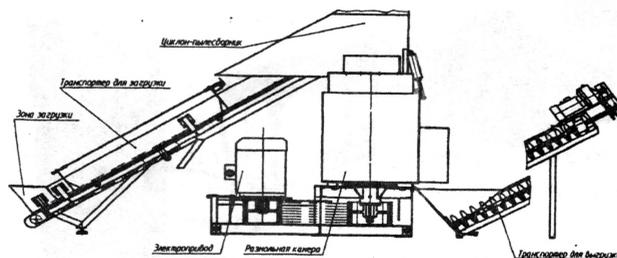
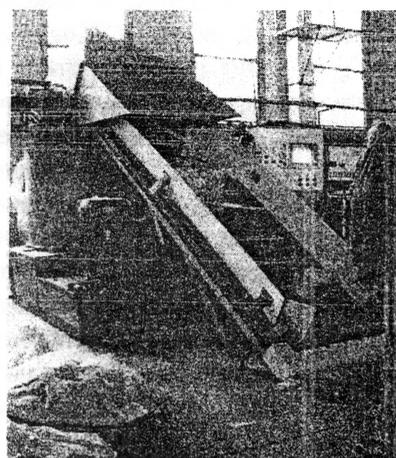


Рис. 5. Агломератор АОЗМ-ными методами — методом горячей резки и холодным гранулированием [11, 37-39]

При разработке грануляторов для отходов ПМ большое внимание уделяется фильтрации расплава и его перемешиванию, совершенствованию конструкции ножей [4, 32], процессу дегазации расплава, уменьшению уровня шума при работе гранулятора, снижению энергозатрат на процесс гранулирования, охлаждению получаемого гранулята и его обезвоживанию.

Например, гранулятор немецкой фирмы Batlenfeld Extrusionstechnik GmbH типа ВЕХ 2-130/22V-EMS имеет две зоны дегазации, что позволяет перерабатывать отходы ПМ без предварительной сушки [39]. В капельном грануляторе типа Drop-

ро, разработанном немецкой фирмой Rieter Automatik GmbH полимерный расплав с помощью вибрации разделяется на отдельные капли, которые затем затвердевают в потоке воздуха, воды или водяного тумана. Достоинством этого гранулятора являются гарантированная равномерность получаемых гранул, компактность конструкции, бесшумная работа, отсутствие износа и простота в обслуживании.

В РУП СКТБ «Металлополимер» разработаны и изготавливаются стренговые грануляторы (рис. 6) на базе червячных прессов с диаметром червяка 45 и 90 мм. При грануляции на этих машинах расплав полимера продавливается через стренговую головку и выходит в виде прутков (стренг), которые охлаждаются в ванне с водой и подаются валковым механизмом на устройство резки, состоящее из неподвижного ножа и вращающегося фрезерного ножа. Грануляторы оснащены червяком специальной конструкции и системой фильтрации расплава, благодаря чему отходы полимера дополнительно очищаются, перемешиваются и гомогенизируются. Система фильтрации расплава предусматривает быструю замену фильтра с помощью гидростанции.

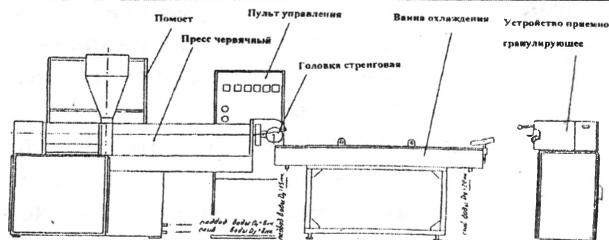
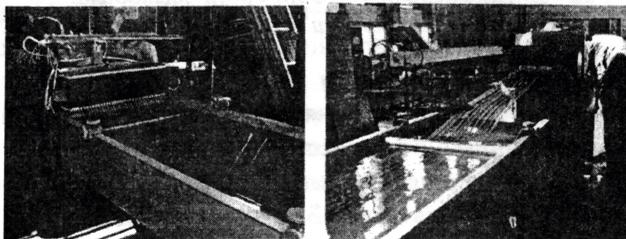
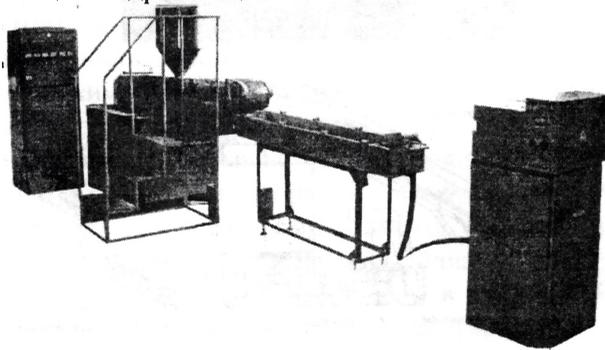


Рис. 6. Гранулятор стренговый

Необходимо учесть, что грануляция это дополнительное термическое воздействие на ПМ, которое в определенной степени ухудшает свойства получаемого сырья, т.к. способствует снижению молекулярной массы полимера. Поэтому в тех случаях, когда можно использовать для производства изделий измельченные отходы ПМ или агломерат, применение процесса гранулирования нецелесообразно.

Защита оборудования

С целью защиты оборудования по переработке отходов ПМ от поломок, загрузочные транспортеры многих устройств снабжают металлодетекторами, которые удаляют из отходов ПМ металлические предметы (скрепки, кусочки проволоки, гвозди и т.п.) [4, 37]. Это устройство особенно важно при переработке отходов потребления, которые часто соприкасаются с металлическими включениями.

Сушка

Наличие остаточной влаги в получаемых из отходов ПМ гранулах или агломерате затрудняет их дальнейшую переработку в изделия. Влага, испаряясь в процессе переработки ПМ в изделия, способствует образованию в них дефектов в виде пор, а при переработке материалов, чувствительных к гидролизу, разрушению молекулярных цепей [11]. Таким образом, наличие влаги в сырье отрицательно сказывается на качестве получаемых изделий и чтобы этого избежать его перед переработкой необходимо высушивать. Для сушки ПМ могут быть использованы следующие устройства: камерная сушилка с циркуляцией воздуха, сушилка с интенсивной циркуляцией свежего воздуха, сушилка с сухим воздухом, вакуумная сушилка [42].

При разработке сушильных агрегатов отмечена тенденция разработки энергосберегающих устройств, разработка сушильных агрегатов непрерывного действия, саморазгружающихся сушилок.

Для сушки гранулированных ПМ немецкая фирма Gala Kunststoff F- und Kautschukmaschinen GmbH разработала саморазгружающийся сушильный агрегат с шумопоглощающей оболочкой [38].

Сушку материалов типа ПЭТ немецкая фирма Kreuynborg Granuliertechnik GmbH предлагает осуществлять сушилкой с ИК-нагревом, в которой ПМ с помощью шнека продвигается вдоль барабана. Благодаря вращению барабана обеспечивается хорошее перемешивание и равномерный нагрев материала. Кроме того, в сушилке наряду с процессом сушки при воздействии ИК-излучения с определенной длиной волны возможна вторичная кристалли-

зация ПЭТ [39]. Австрийская компания Erema выпускает энергосберегающие сушильные агрегаты с экономией энергии до 20%.

Модифицирование продуктов рециклинга

При правильной обработке технологических отходов ПМ не должно происходить фотолитических повреждений материала, так как сохраняют свое действие, введенные в первичное сырье стабилизаторы [1]. Однако при переработке отходов потребления стабилизация вторичного сырья с целью сохранения свойств в процессе переработки и при эксплуатации их в атмосферных условиях представляется важной задачей [41]. Это касается не только переработки, но и эксплуатационных свойств продуктов рециклинга, что требует введения соответствующих модифицирующих добавок [45–50].

Высокая эффективность существующих в настоящее время модификаторов дает возможность решать проблемы сохранения свойств полимеров путем ввода в них небольшого количества добавок (порядка 0,2–0,4 процента от массы полимера) [52, 53]. Однако при этом возникает проблема равномерного распределения их в массе полимера. Наиболее рациональным способом их введения в полимеры, является использование их концентратов, особенно многофункциональных, содержащих несколько аддитивов, каждый из которых выполняет в полимере свою функцию. В то же время введение концентратов необходимо осуществлять только в расплаве, так как осуществить их равномерное перемешивание механическим способом невозможно [11, 12, 47, 49].

Для уменьшения или полного исключения снижения молекулярной массы вторичных полимеров при переработке в них вводят специальные добавки. Так Фирма L. Bruggemann KG (Германия) предложила для переработки ПА-6 применять добавки, которые способствуют сохранению молекулярной массы полимера и тем самым обеспечивают его более высокую воспроизводимость по свойствам и технологичности при повторной переработке по сравнению с полимерами, где используют сшивающие агенты [44, 47].

Среди наполнителей чаще всего используются тальк, каолин, древесная мука и мел. Наполнители повышают модуль упругости, твердость материала, формоустойчивость изделий при воздействии на них тепла, однако при этом способствуют снижению прочности при растяжении, ударной вязкости и относительного удлинения при разрыве. Как правило наполнители ухудшают перера-

батываемость полимеров, вследствие снижения их текучести. В то же время при наполнении рециклятов возможно улучшение их эксплуатационных характеристик, что способствует перспективности такого направления в рециклинге полимеров [11, 12, 42–46, 56].

Эколого-экономические аспекты рециклинга

С точки зрения экономики важно достичь снижения себестоимости получаемого из отходов ПМ вторичного сырья и определить пути его рационального использования. При этом использование вторичного материала, получаемого из отходов, в первую очередь, подчиняется экономическому закону спроса и предложения, а экологический аспект играет, хотя и важную, но скорее второстепенную роль. Стоимость вторичного полимерного сырья, полученного из технологических отходов производства полимерных изделий, практически всегда ниже стоимости первичного сырья. В то же время переработка полимерных отходов сферы потребления может оказаться нерентабельной. Во-первых потому, что затраты на производство вторичного материала могут оказаться слишком высокими, во-вторых, потому, что для вторичных материалов не будут найдены рынки сбыта. Если первое условие может быть решено путем дотаций из госбюджета, так как государство заинтересовано в улучшении экологической ситуации в регионе и в стране в целом, то второе условие требует конкретных маркетинговых решений. Таким образом, в качестве основной задачи при утилизации полимерных отходов является поиск ликвидной продукции, получаемой из полимерных отходов.

С экономической точки зрения при переработке отходов потребления возникают дополнительные затраты, связанные, в первую очередь, с использованием в сортировке отходов малопроизводительного ручного труда, включающего предварительную очистку отходов (удаление крупных загрязнений, бумаги, камней, металлических включений и т.п.). Мойка и сушка также являются энергоемкими операциями, для проведения которых дополнительно требуется вода и моющие средства. Следовательно, затраты на переработку отходов потребления оказываются значительно большими в сравнении с переработкой технологических отходов производства. При этом качество сырья из отходов потребления практически всегда ниже качества сырья, полученного из технологических отходов производства полимерных изделий.

В то же время основная часть затрат при рецик-

линге отходов производства приходится на стоимость таких операций как измельчение, агломерация и грануляция. При рециклинге отходов потребления (как производственных, так и бытовых) основная часть затрат приходится на подготовительные операции: сбор, сортировка, хранение, транспортирование отходов к месту их переработки, мойка и сушка отходов.

Поэтому в экономическом плане при рециклинге полимеров необходимо учитывать: во-первых, расширение областей применения вторичного полимерного сырья и, во-вторых, расширение номенклатуры изделий из него. Так, например, имеются технологии использования загрязненных отходов ПМ для производства полимербетона, тротуарной плитки, черепицы и т.п., где, по сути, используются остаточные свойства вторичных полимеров без их дополнительного модифицирования [11, 12, 57].

Одним из удачных примеров использования дешевого вторичного сырья, в частности полиэтилена, является производство труб. С этой целью в РУП СКТБ «Металлополимер», на основе червячных прессов с диаметрами червяка 45 мм и 90 мм разработаны линии для получения труб диаметрами 25, 32, 40, 75 и 90, 110 мм. Модифицированные композиции для получения труб в виде агломерата состоят из 70–75% вторичного полиэтилена высокого давления и 25–30% вторичного полиэтилена низкого давления. Трубы предназначены для наружных безнапорных трубопроводов, малоответственных или временных трубопроводов, транспортирующих жидкие и газообразные вещества, к которым полиэтилен химически стоек, а также для прокладки кабельной проводки.

Заключение

Эффективность рециклинга полимерных материалов вплотную связана с решением проблем организационно-правового, технологического и эколого-экономического характера. В области организационно-правовой политики необходимо больше внимания уделять разъяснительной работе с населением и формированию более действенной законодательной базы. В технико-технологическом направлении необходимы новые типы оборудования для рециклинга полимерных материалов. Для большей эффективности их применения необходима разработка перспективных рециклинговых технологий, которые бы в совокупности обеспечивали утилизацию отходов и получение на их основе, качественной продукции с привлекательной для потребителя ценой.

Литература

1. Штарке Л. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс, Пер. с немецкого к.т.н. В.В. Михайлова, под ред. к.т.н. В.А. Брагинского. – Л-д: Химия, Ленинградское отделение. – 1987; 34–37, 39.
2. Жаковска А. // Технологии переработки и упаковки. – 2004, № 8.
3. Шварц О., Эбенлинг Ф.В., Фурт Б. Переработка пластмасс. – Санкт-Петербург: Профессия. – 2005.
4. Торнр Р.В., Акутин М. С. Оборудование заводов по переработке пластмасс. – М.: Химия. – 1986.
5. Матросов А.С. Управление отходами. – М.: Гардарики. – 1999.
6. Directive 94/62/ECC of December 1994 on packaging and packaging waste.
7. Tartakowski Z., Biedzki A. K. Polymer material recycling systems in Europe // Conf. «POLYCOM–2000». – Gomel. – 2000, p. 17–20.
8. Технологии безопасной переработки отходов и санации техногенно загрязненных технологий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 1999, № 3–4.
9. Милицкова Е.А., Потапов И.И. Переработка отходов пластмасс. М. – 1997.
10. Милицкова Е.А., Потапов И.И. Использование отходов пластмасс. М. – 1998.
11. Шаповалов В.М., Тартаковский З.Л. Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов. – Гомель. – 2003.
12. Зинович З.К., Халецкий В.А. Рециклинг полимеров: информационные, экологические и технологические аспекты. – Минск: Изд-во С. Лаврова. – 1999.
13. Пальчуганов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. – М.: Стройиздат, 1990.
14. Плескачевский Ю.М., Таврогинская М.Г., Шаповалов В.М. Проблемы рециклинга полимерных материалов в Республике Беларусь // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Охрана окружающей среды на транспорте и в промышленности», г. Гомель, 2001.
15. Патент 5462235 США, заявл. 08.12.1992, опубл. 31.10.1995.
16. Патент 2159178 Россия, заявл. 22.05.1997, опубл. 20.11.2000.
17. Заявка 2785204 Франция, заявл. 19.05.1999, опубл. 05.05.2000.
18. Заявка 0970749 ЕПВ, заявл. 09.07.1998, опубл. 12.01.2000.
19. Патент 2116196 Россия, заявл. 19.04.1996, опубл. 27.07.1998.
20. Патент 2143324 Россия, заявл. 05.02.1998 опубл. 27.12.1999.
21. Заявка 19614030 Германия, заявл. 09.04.1996, опубл. 16.10.1997.
22. Заявка 19616032 Германия, заявл. 23.04.1996 опубл. 30.10.1997.
23. Заявка 2794667 Франция, заявл. 10.06.1999, опубл. 15.12.2000.
24. Патент 6094795 США, заявл. 22.06.1999, опубл.

- 01.08.2000.
25. Патент 4437 РБ, заявл. 27.05.1998, опубл. 20.12.2001.
26. Патент 2206402 Россия, заявл. 10.08.2001, опубл. 20.06.2003.
27. Патент 2207908 Россия, заявл. 12.11.2001, опубл. 10.07.2003.
28. Патент 2089689 Россия, заявл. 19.7.93, опубл. 10.9.97.
29. Патент 1742079 Украина, заявл. 09.01.90, опубл. 1992.
30. Патент России 2089690, заявл. 11.7.94, опубл. 10.9.97.
31. Заявка 1 9647025 Германии, заявл. 14.11.96, опубл. 20.5.98.
32. Патент Россия 2227093, заявл. 31.07.2002, опубл. 20.04.2004.
33. Патент 9-067432 Япония, заявл. 28.10.1998, опубл. 16.01.2001.
34. Патент 5611983 США, заявл. 28.04.95, опубл. 18.03.97.
35. Филин В.Я., Акимов М.В. Современное оборудование для тонкого и сверхтонкого измельчения. М.: ЦНИИХимнефтемаш. – 1991.
36. Белобородова Т.Г., Панов А.К. Универсальная установка измельчения «мягких» полимерных отходов // Пластические массы. – 2002, № 7, 46–48.
37. Шнорр фон Карольсфельд. Оборудование для переработки технологических отходов // Полимерные материалы. – 2002, 10–11.
38. Rassbofer W. Recycling von Polyurethan – Kunststoffen, Huthing Verlag, Heidelberg. – 1994.
39. Hemel S., Held S. Chemische Recycling von PUR – Weichschaumstoffen, Kunststoffe 88. – 1998, № 2, 223–226.
40. Вторичное использование полимерных материалов / Под ред. Е.Г. Любешкиной. – М.: Химия. – 1985.
41. Никулин Ф.Е. Утилизация и очистка промышленных отходов. – Л.: Судостроение. – 1980, 12–30.
42. Мишак В.Д., Мамуня Е.П., Лебедев Е.В. // ISrod-kowuluropejskiej konf.: «Recykling materialow polimerowych – Nauka – Przemuse». – Szczecin. – 2001.
43. Наполнители для полимерных материалов / Под ред. С.В. Каца, Д.В. Милевски. Пер. с англ. / Под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия. – 1981.
44. Песецкий С.С. К оценке влияния модификатора на межфазное взаимодействие в полимерных смесях. Известия АН Б, сер. хим. наук. – 1992, № 16, 105–110.
45. Носков Д.В. Оценка пригодности к рециклингу вторичных полимеров // Пластические массы. – 2002, № 8.
46. Плескачевский Ю.М., Шаповалов В.М., Таврогинская М.Г., Тартаковский З. Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных термопластов // II Центрально-Европейская конференция «Рециклинг полимерных материалов «Наука – промышленность»: Материалы науч.-техн. конф. / Торунь, 12–14 ноября 2003.
47. Шаповалов В.М. Полимерные композиты на основе модифицированных термопластов и органических наполнителей // XV Scientific Conference «Modification of polymers» / Wrocław – Poinica Zdroj. – 2002.
48. Винокуров И. Экологическое земледелие и проблема диоксинов // Экологический бюллетень «Чистая земля», спец. выпуск. – 1997, 27–31.
49. Некрасов Б.В. Курс общей химии. – М.: ГХИ. – 1962, 513–537.
50. Карапетьянц М.Х., Дракин С.И. Общая и неорганическая химия. – М.: Химия, 1981, 379–392.
51. Reischl A., Reissinger M., Thoma H., Hutzinger O. // Chemosphere. – 1989 (18), N 1/6, 561–568.
52. Экологическая биотехнология / Под ред. К.Ф. Форстера и А.А. Дж. Вейза, Л.: Химия, Лен. отд. – 1990.

Печатается с разрешения авторов по материалам журнала «Материалы. Технологии. Инструменты» т. 11 № 4 2006

УДК 621.771

УПРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ В АВТОМОБИЛЬНОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ

Томило В.А.

Наиболее перспективным направлением снижения материалоемкости, энергозатрат и повышения производительности является уменьшение потребления традиционных сортаментов проката черных и цветных металлов путем использования более экономичных периодических профилей, производимых непосредственно на машиностроительных предприятиях. Использование периодического проката в качестве полуфабрикатов для производства тяжелонагруженных деталей автомобилей и сельскохозяйственной техники является важным аспектом экономии ресурсов.