

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.С. Клинков, П.В. Макеев, И.В. Шашков, Д.Л. Полушкин

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.П. Бритов

Ключевые слова и фразы: валково-шнековый агрегат; вторичная переработка; отходы полимеров; технологический процесс; утилизация.

Аннотация: Рассмотрены существующие методы утилизации полимерных отходов, отмечены их достоинства и недостатки. Рассмотрена и решена задача по разработке технологического процесса и оборудования для вторичной переработки полимерных отходов. Проведены экспериментальные исследования по определению влияния технологических параметров процесса переработки широкого класса полимерных отходов на их качественные показатели. Найдены оптимальные параметры переработки отходов полимеров на валково-шнековом агрегате. В ходе выполнения экспериментальных исследований проанализированы значения удельной мощности, затрачиваемой на производство 1 кг продукции, и проведено сравнение с имеющимися технологиями по переработке отходов полимеров. Отмечено, что использование разработанной технологии и оборудования позволяет значительно снизить затраты электроэнергии на переработку полимерных отходов, а следовательно, уменьшить себестоимость получаемого вторичного материала, который может быть использован для получения изделий технического назначения.

Обозначения и аббревиатуры: n_v – частота вращения вала вальцов, об/мин; $n_{ш}$ – частота вращения шнека, об/мин; ε – относительного удлинения при разрыве, %; σ_p – предел прочности при разрыве, МПа; ВПВД – вторичный полиэтилен высокого

Клинков Алексей Степанович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство», e-mail: Polymers@asp.tstu.ru; Макеев Павел Владимирович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство»; Шашков Иван Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство»; Полушкин Дмитрий Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство», ТамбГТУ, г. Тамбов.

давления; ВПНД – вторичный полиэтилен низкого давления; ВПП – вторичный полипропилен; ВПС – вторичный полистирол; ПТР – показатель текучести расплава, г/10 мин.

Рациональное потребление материальных ресурсов является в настоящее время одним из важнейших рычагов в развитии экономики. Однако, наряду с этим, экологические и социальные аспекты играют в ее развитии все бóльшую роль. Охрана окружающей среды сегодня представляет глобальную международную проблему. В этой связи использование разнообразных отходов жизнедеятельности человечества, объемы которых непрерывно растут, становится одной из актуальных задач. Наиболее остро стоит проблема утилизации отходов полимерных материалов, так как ввиду своих специфических свойств полимерные материалы практически не разлагаются, тем самым нанося огромный вред окружающей среде.

Опыт европейских стран требует от производителей выполнения директивы (Dir 94/62/EC); измененной и дополненной в 2009 г. [1], которая регулирует отношения в сфере упаковки, утилизации и переработки отходов упаковки. В России на сегодняшний день, по поручению Президента РФ № Пр-2138 от 10.08.2012 ведется активное обсуждение и рассмотрение проекта Федерального закона № 584399-5 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления».

Следует отметить, что в развитых странах сжигается лишь та часть твердых бытовых отходов (ТБО), которая не пригодна для вторичной переработки, но это явление в последние годы имеет тенденцию к значительному снижению. Кроме диоксинового загрязнения противники сжигания мусора приводят такие аргументы против мусоросжигательных заводов:

- мусоросжигание не только не способствует развитию рециклинговых систем, а наоборот, не заинтересовано в них;
- заводы не уничтожают отходы окончательно. Шлаки и пепел от мусоросжигания (около 30 % начальной массы ТБО), все равно должны быть захоронены на полигонах.

В резолюции заседания круглого стола «Условия эффективной реализации расширенной ответственности производителя за утилизацию отходов упаковки» прошедшего 12 сентября 2012 г. в г. Москве, в Торгово-промышленной палате РФ выдвинуто положение: *«Существующий подход к организации процесса обращения с отходами упаковки приводит к тому, что значительная их часть попадает на свалки (полигоны). Ценные в сырьевом отношении отходы используются в промышленных масштабах как вторичные ресурсы крайне слабо...»*.

Таким образом, ни захоронение, ни сжигание не решают проблему накопления и эффективного использования полимерных отходов, а лишь переводят ее в новое, опасное и труднопредсказуемое русло. В связи с этим, перспективными становятся технологии, способные вторично использовать образующиеся отходы в производственном цикле.

Существующие подобные технологии переработки отходов термопластов включают в себя множество вспомогательных и энергоемких операций: измельчение, мойку, сушку, что требует значительных энергетических и трудовых затрат, увеличения производственных площадей, существенных капитальных вложений и приводит, в конечном итоге, к увеличению себестоимости продукции.

В России вопрос о повторной переработке полимеров актуален, поскольку в стране традиционно существует дефицит дешевого полимерного сырья. По итогам Международной конференции «Сырьевой вектор развития полимерного бизнеса» (г. Москва, 12 апреля 2011 г.), начиная с 2000 г. спрос превысил предложение в среднем на 25,4 %; при этом доля импорта на рынке составила порядка 36,4 %.

Таким образом, цель настоящего исследования может быть сформулирована как разработка непрерывного технологического процесса переработки широкого класса отходов полимерных материалов, позволяющего исключить из технологической цепочки дробление и сушку перерабатываемого материала.

Разработанный технологический процесс (рис. 1) вторичной переработки отходов термопластов по непрерывной технологии осуществляется следующим образом: отходы с содержанием посторонних примесей не более 5 % поступают на участок сортировки отходов 1, в процессе которой из них удаляют случайные инородные включения и выбраковывают сильно загрязненные куски.

Подготовленные таким образом отходы полимеров, непрерывно загружаются через загрузочный бункер на рабочие поверхности валково-шнекового агрегата 2. Под действием температуры происходит плавление отходов, удаление летучих компонентов, пластикация и транспортировка материала по направлению к загрузочной зоне, где расплав продавливается через загрузочное отверстие и, захватываясь витками шнека, транспортируется в сторону формирующей головки. На выходе из формирующей головки полученные прутки (стренги) заданного сечения, режутся ножом 4, после чего гранулы собираются в емкости 5.

Для осуществления разработанного технологического процесса вторичной переработки отходов полимерных материалов спроектирована и изготовлена экспериментальная установка [2].

Экспериментальная установка (рис. 2) представляет собой горизонтально расположенные полые валки 1, 2 диаметром 80 мм и рабочей длиной 200 мм. При этом передний валок 1 является подвижным (число оборотов валка от 0 до 30 об/мин), а задний валок 2 неподвижным. В заднем

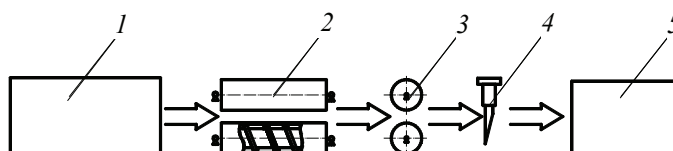


Рис. 1. Схема технологического процесса вторичной переработки отходов термопластов: 1 – участок сортировки отходов; 2 – валково-шнековый агрегат; 3 – тянущее устройство; 4 – нож; 5 – емкость для гранул

валке имеется загрузочное окно 5, расположенное в зоне максимального давления вальцуемого полимера под углом, равным углу подъема винтовой нарезки шнека [3].

Внутри неподвижного валка установлен шнек 3, привод которого осуществляется от электродвигателя 8. Шнек 3 осуществляет захват материала, дополнительную гомогенизацию, транспортировку и создание давления перед формующей головкой.

Проведенные исследования показали работоспособность данной конструкции и возможность переработки по данной технологии не только пленочных отходов термопластов производственного и общественного потребления, но и различных технологических отходов термопластов.

В качестве объекта исследования выбран ВПВД, в связи с тем, что рынок производства и потребления данного полимера развивается наиболее быстрыми темпами по сравнению с остальными, что соответственно приводит к увеличению роста образующихся отходов полимера.

В процессе проведения предварительных испытаний установлено, что поскольку процесс переработки отходов термопластичных полимерных материалов на валково-шнековом агрегате является совмещенным, то его можно условно разделить на две стадии:

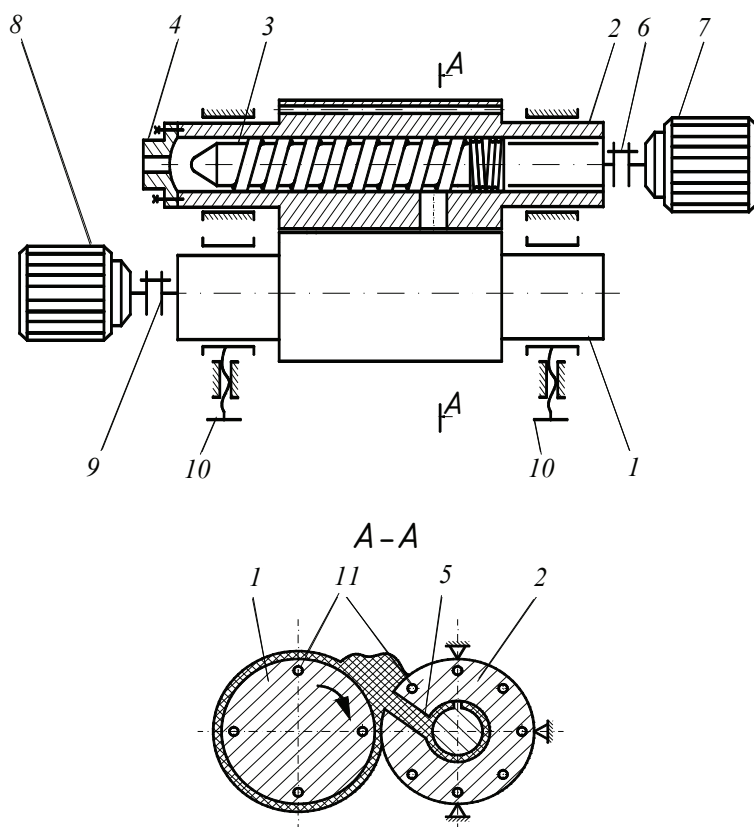


Рис. 2. Схема экспериментальной валково-шнековой установки: 1 – передний валок; 2 – задний валок; 3 – шнек; 4 – формующая головка; 5 – загрузочное окно; 6, 9 – муфта; 7, 8 – мотор-редуктор; 10 – регулирующее устройство; 11 – электронагреватели

– переработка на валковом оборудовании с одним неподвижным валком;

– переработка экструзией.

Таким образом, в целях снижения числа параметров, влияющих на качественные показатели вторичного гранулята, необходимо оценить степень воздействия на перерабатываемый материал как со стороны валкового, так и со стороны экструзионного оборудования.

По результатам исследований построены графические зависимости (рис. 3), которые позволили сделать следующие выводы:

– наблюдаются изменения прочностных свойств вторичного материала при различной частоте вращения вала вальцов $n_{\text{в}}$. Это вызвано тем, что основное сдвиговое воздействие на материал со стороны рабочих органов технологического оборудования в процессе вторичной переработки происходит в процессе течения расплава полимера в зоне межвалкового зазора;

– изменение частоты вращения шнека $n_{\text{ш}}$ при постоянной частоте вращения вала вальцов $n_{\text{в}}$ не вносит существенного влияния на величину показателя прочности при разрыве $\sigma_{\text{р}}$ получаемого вторичного термопластичного материала, что является следствием недостаточной величины сдвиговой деформации, возникающей в межвитковом пространстве шнека.

В связи с этими заключениями, дальнейшие эксперименты проводили при одной постоянной частоте вращения шнека $n_{\text{ш}} = 56$ об/мин.

На установке (см. рис. 2) проведены экспериментальные исследования, цель которых заключалась в установлении зависимостей между технологическими параметрами процесса (частота вращения вала $n_{\text{в}}$, частота вращения шнека $n_{\text{ш}}$) и физико-механическими показателями получаемого гранулята (предел прочности $\sigma_{\text{р}}$ и относительное удлинение при разрыве ε).

Полученные в процессе переработки гранулы подвергались испытаниям по определению физико-механических показателей по ГОСТ 11262–80* [6], ПТР по ГОСТ 11645–73 [7], а также определения золь-гель фракции.

В результате получены графические зависимости, представленные на рис. 4. Анализ зависимостей позволяет сделать следующие выводы: с увеличением числа оборотов вала прочностные характеристики материала увеличиваются, что является следствием структурирования материала в процессе переработки. Максимальное упрочнение материала наблюдается при $n_{\text{в}} = 25$ об/мин.

При дальнейшем увеличении частоты вращения вала наблюдается возрастание сдвиговых деформаций в межвалковом зазоре, что приводит к разрыву межмолекулярных связей и снижению прочностных характеристик соответственно.

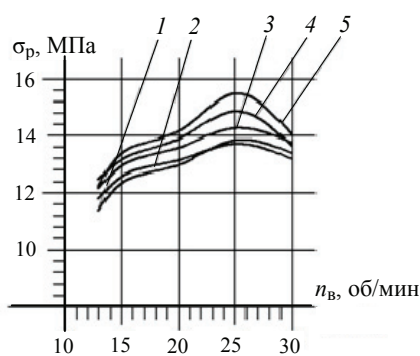


Рис. 3. Зависимость прочности при разрыве $\sigma_{\text{р}}$ от частоты вращения вала $n_{\text{в}}$ при различной частоте вращения шнека $n_{\text{ш}}$ (ВПВД), об/мин: 1 – 28; 2 – 42; 3 – 56; 4 – 70; 5 – 84

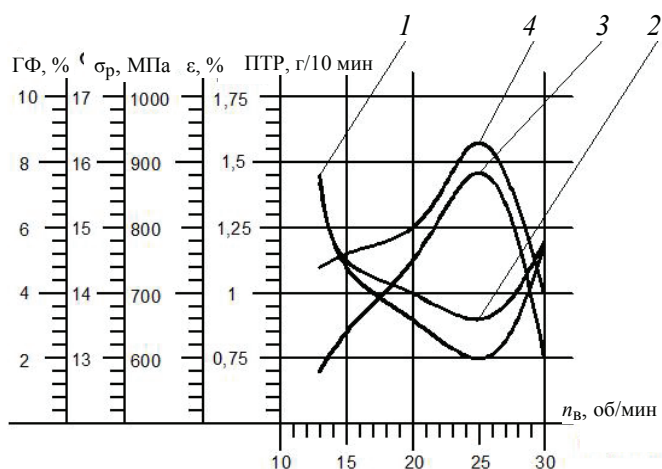


Рис. 4. Зависимость прочности при разрыве σ_r , зависимости ПТР, относительного удлинения при разрыве, предела прочности при разрыве, содержания гель-фракции от частоты вращения валка: 1 – показатель текучести расплава полимера, г/10 мин; 2 – относительное удлинение при разрыве, %; 3 – предел прочности при разрыве, МПа; 4 – содержание гель-фракции, %

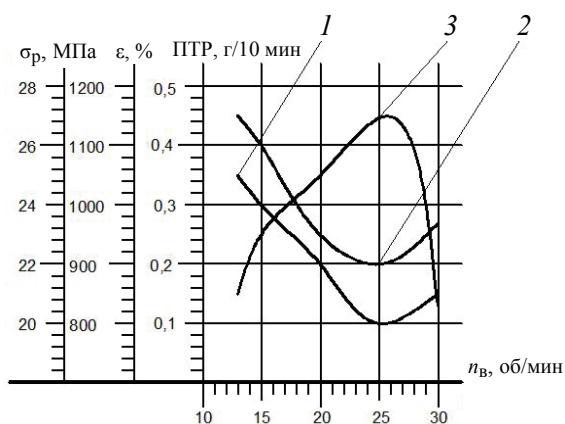
При этом во вторичном материале образуется нерастворимая гель-фракция, которая в данном случае выполняет функцию активного наполнителя полимерной матрицы, что, с одной стороны, приводит к увеличению прочности, но в то же время является причиной появления значительных внутренних напряжений, следствием чего является повышение хрупкости материала и снижение относительного удлинения.

В работе проведены также экспериментальные исследования с отходами других термопластичных полимерных материалов ВПНД (рис. 5, а), вторичный полипропилен (ВПП рис. 5, б), ВПС (см. рис. 5, в), которые широко используются в производстве упаковки.

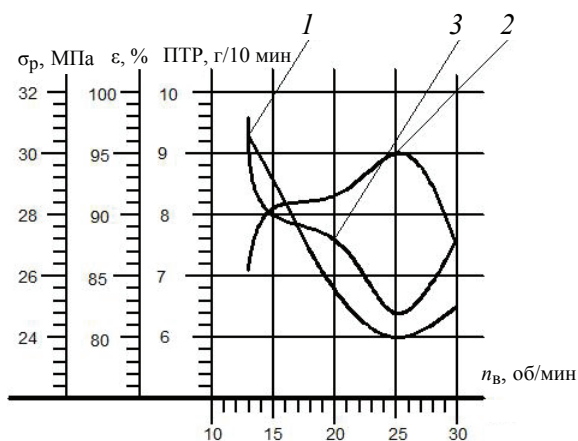
Анализируя экспериментальные зависимости (см. рис. 5) можно сделать вывод, что характер изменения физико-механических показателей и показателя текучести расплава от частоты вращения валка при переработке ВПНД, ВПП, ВПС аналогичен зависимостям для ВПВД (см. рис. 3).

В ходе проведения экспериментальных исследований анализировались значения удельной мощности затрачиваемой на производство 1 кг продукции, и проводилось сравнение с имеющимися технологиями по переработке отходов полимеров. Результаты сравнения приведены в таблице.

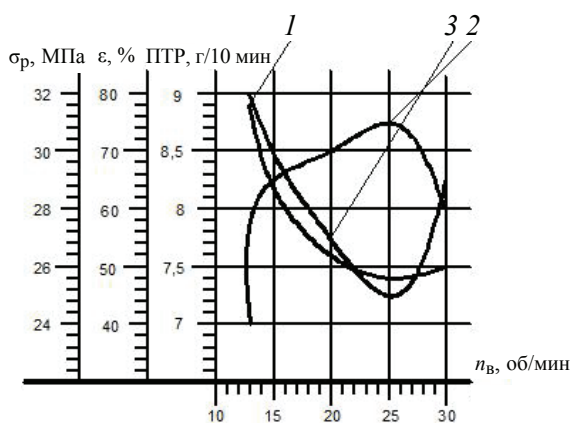
Таким образом, использование разработанной технологии позволяет проводить утилизацию отходов полимерной тары и упаковки. Валковошнековый агрегат может быть установлен в любом месте скопления отходов, поскольку не предполагает использования сложных технических и технологических узлов. Между тем, исключение стадий дробления (что является достаточно трудоемким и энергоемким процессами для отходов упаковочного полимерного материала) и сушки приводит к снижению энергозатрат и, следовательно, к уменьшению себестоимости получаемого вторичного материала, который может быть использован для получения изделий технического назначения.



а)



б)



в)

Рис. 5. Графики зависимости показателя текучести расплава полимера, относительного удлинения при разрыве, предела прочности при разрыве от частоты вращения вала: а – ВПНД; б – ВПП; в – ВПС; 1 – показатель текучести расплава полимера, г/10 мин; 2 – относительное удлинение при разрыве, %; 3 – предел прочности при разрыве, МПа

Сравнение технологий по переработке отходов полимеров

Технология	Удельная мощность, (кВт·ч)/кг
Завод вторичной переработки полимеров (группа компаний «АЛЕРКО», г. Ростов-на-Дону):	
MINIMUM	1,590
MEDIUM	1,090
MAXIMUM	1,104
Линии грануляции SM-75WPR (ООО «Арсенал Индустрия», Московская область)	1,196
Переработка на валково-шнековом агрегате (ТамбГТУ, кафедра ПП и УП)	0,800

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, проект № 7.3766.2011, по теме «Разработка энергоэффективной технологии и оборудования утилизации отходов полимерной тары и упаковки» и в рамках НИИ 01.2012.05 ТГТУ от 28.05.2012 г. «Теория и практика устойчивого развития природопромышленных систем. Проектирование региональных утилизирующих комплексов, технологий и оборудования».

Список литературы

1. Об упаковке и отходах от упаковки : директива № 94/62/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза : принята в г. Брюсселе 20.12.1994 : с изм. и доп. от 11.03.2009.
2. Разработка конструкции валково-шнекового агрегата и совмещенного технологического процесса утилизации полимерной тары и упаковки / Д.Л. Полушкин [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 578–587.
3. Пат. 2417881 Российская Федерация, МПК С 2 В 29 В 7/64. Валково-шнековый агрегат / Клинков А.С., Макеев П.В., Соколов М.В., Полушкин Д.Л., Однолько В.Г. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2009100295/05 ; заявл. 11.01.2009 ; опубл. 20.07.2010, Бюл. № 20. – 5 с.
4. Сырьевой вектор развития полимерного бизнеса [Электронный ресурс] : Междунар. конф., г. Москва, 12 апр. 2011 г. / ЗАО «Альянс-Аналитика». – Режим доступа : <http://www.alliance-analytics.ru/conference/166.php>. – Загл. с экрана.
6. ГОСТ 11262–80*. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – Введ. 1980-12-01. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 11 с.
7. ГОСТ 11645–73. Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов. – Введ. 1975-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 12 с.

Resource-Saving Technology of Processing Waste Polymer Materials

A.S. Klinkov, P.V. Makeyev, I.V. Shashkov, D.L. Polushkin

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: process; recycle; recycling; rollscrew assembly; wastes of polymers.

Abstract: The paper studies the existing methods of polymeric waste treatment; their advantages and disadvantages are discussed. The problem of the development of technological process and equipment for recycling of plastic waste is considered and solved. Experimental studies to determine the influence of technological parameters of process of processing of a wide class of polymeric waste on their qualitative indicators are carried out. The optimal parameters of polymers waste treatment on roller auger-type device are calculated. In the course of experimental studies the values of specific power consumed for the production of 1 kg of products are analyzed, and comparison with the existing technologies of processing waste polymers is made. It is noted that the use of the developed technology and equipment enables to significantly decrease the cost of energy for polymeric waste treatment, and hence reduce the cost of the resulting secondary material, which can be used to obtain technical products.

© А.С. Клинков, П.В. Макеев,
И.В. Шашков, Д.Л. Полушкин, 2013