

*Т. В. Коржавина, П. В. Макеев\**

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ**

В настоящее время вторичная переработка пластмасс ввиду быстрого роста объема их производства приобретает важное экономическое и экологическое значение. И очевидным является то, что без применения инновационных способов переработки существует большая вероятность превращения планеты в одну громадную свалку.

На сегодняшний день в промышленности применяются следующие основные направления утилизации отходов пластмасс:

- сжигание вместе с бытовыми отходами;
- захоронение на полигонах и свалках;
- термические способы утилизации;
- вторичная переработка полимерных отходов.

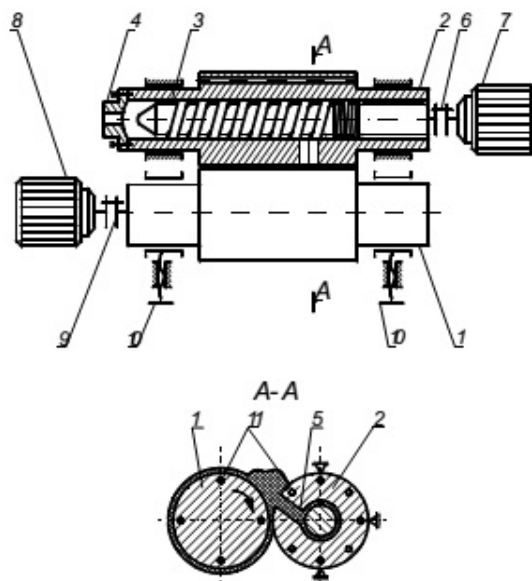
Наиболее перспективным способом утилизации полимерных отходов является их вторичная переработка и дальнейшее использование по прямому назначению. Использование вторичных полимерных материалов решает сырьевые проблемы, позволяя сократить потребление первичных материальных ресурсов. При этом не только достигается экономический эффект от использования в качестве сырья вторичного материала, но и существенно снижается загрязнение окружающей среды.

Однако, несмотря на все перспективы использования вторичных полимеров в качестве сырья, таким способом утилизируется лишь малое их количество, это связано с трудоемкостью сбора, разделения, сортировки, очистки, мойки и сушки отходов предварительного гранулирования и получения из гранул конечного продукта [1].

Авторами было разработано оборудование, позволяющее совместить стадии предварительного гранулирования и получения изделия, что значительно снижает себестоимость конечного продукта. Экспериментальная установка (рис. 1) выполнена на базе лабораторных вальцов Лб 200 80/80 и представляет собой горизонтально расположенные полые валки 1, 2 диаметром 80 мм и рабочей длиной 200 мм. Передний валок 1 является подвижным. Задний валок 2 является неподвижным, в нем имеется загрузочное отверстие 5, расположенное в зоне максимального давления под углом, равным углу подъема винтовой нарезки шнека. Внутри заднего валка установлен шнек 3. Шнек 3 осуществляет захват материала, транспортировку и создание давления перед формирующей головкой 4 [2].

---

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» П. В. Макеева.



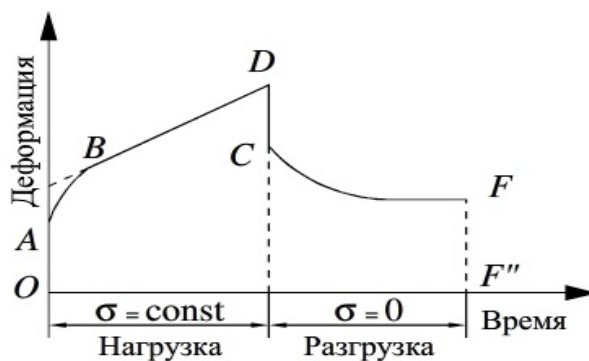
**Рис. 1. Схема экспериментальной валково-шнековой установки:**  
 1 – валок передний; 2 – валок задний; 3 – шнек; 4 – головка формующая;  
 5 – окно загрузочное; 6, 9 – муфты; 7, 8 – мотор-редукторы;  
 10 – регулирующий механизм; 11 – электронагреватели

На данном оборудовании были проведены экспериментальные исследования по получению вторичного гранулятора из отходов полимерной тары и упаковки.

Далее были исследованы свойства вторичного гранулята, а именно определение кривой ползучести–восстановления полимерного материала и определение постоянных реологического уравнения при различных условиях нагружения.

Для измерения характеристик ползучести образец подвергали нагружению до заданного напряжения  $\delta$ , после чего под действием этого постоянного напряжения в нем развивается деформация. В результате определяли зависимость относительной деформации от времени  $t$  при  $\delta = \text{const}$ , которую называют кривой ползучести.

На рисунке 2 представлена кривая ползучести–восстановления полимеров в твердом состоянии при напряжениях заметно ниже предела текучести.



**Рис. 2. Кривая ползучести–восстановления**

После приложения напряжения деформация развивается мгновенно до величины  $OA$ , затем развитие деформации во времени выражается кривой  $AB$ , переходящей в прямую  $BD$ . Участок  $OA$  соответствует небольшой по величине деформации  $\varepsilon_{\infty}$ , которая формально подчиняется закону Гука и называется условно-упругой деформацией. Участок  $AB$  – это участок неустановившейся ползучести. Он характеризует одновременно развивающиеся во времени высокоэластическую деформацию и деформацию течения. Прямая  $BD$  связана только с процессом установившегося течения. На кривой разгрузки (восстановления) отрезок  $DC$ , равный по величине отрезку  $OA$ , соответствует мгновенному обратимому восстановлению длины образца. Дальнейшее изменение длины происходит во времени постепенно, что соответствует высокоэластической деформации. После прекращения изменения длины образца отрезок  $FF''$  соответствует остаточной деформации. Природа остаточной деформации после разгрузки может быть двоякой. Остаточная деформация может представлять собой либо деформацию вязкого течения, либо необратимую при данной температуре часть высокоэластической деформации. Кривая изменения деформации во времени в процессе нагрузки называется прямым последствием, кривая разгрузки – обратным последствием [3, 4].

В результате проведенных исследований были построены кривые ползучести–восстановления, представленные на рис. 3 – 5.

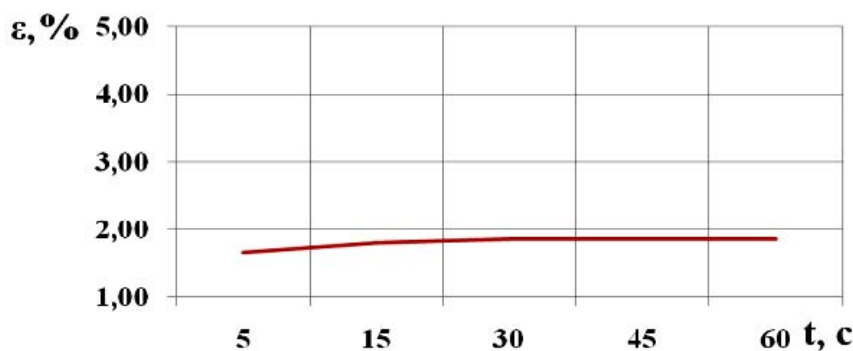


Рис. 3. Кривая ползучести–восстановления при нагрузке  $m_1 = 1$  кг

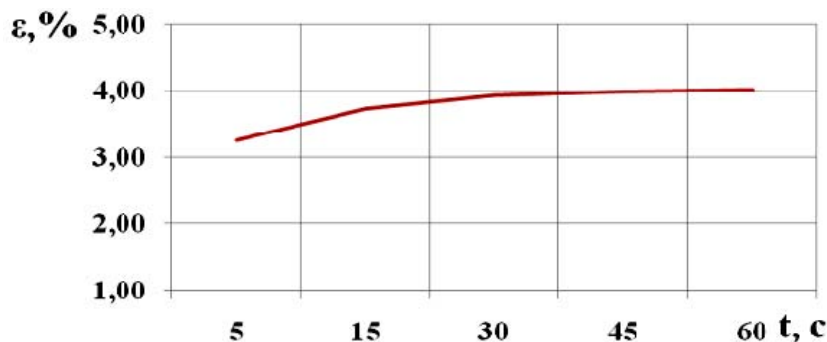


Рис. 4. Кривая ползучести–восстановления при нагрузке  $m_2 = 2$  кг

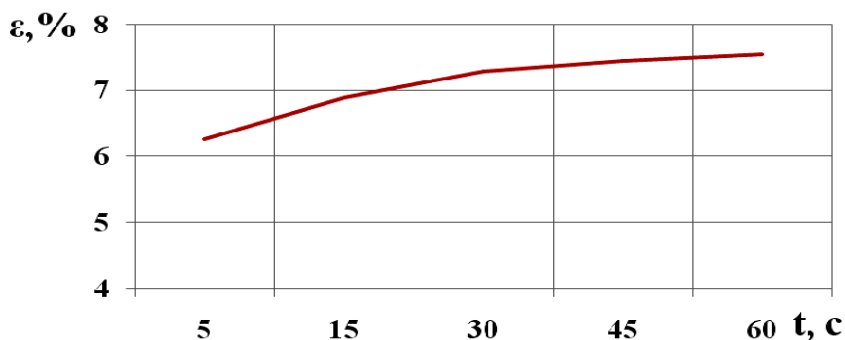


Рис. 5. Кривая ползучести–восстановления при нагрузке  $m_3 = 3$  кг

Данные кривые использовались для определения мгновенной начальной деформации образца  $\varepsilon_M$  и равновесной деформации образца  $\varepsilon_\infty$ , которые необходимы для определения реологических постоянных:

$$E = \sigma \frac{2\varepsilon_1 - \varepsilon_M - \varepsilon_2}{\varepsilon_1^2 - \varepsilon_M \varepsilon_2};$$

$$H = \sigma \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_2}{2\varepsilon_1 \varepsilon_\infty - \varepsilon_1^2 - \varepsilon_2 \varepsilon_\infty};$$

$$\tau = -\frac{t'}{\ln\left(1 - \frac{\varepsilon(t') - \varepsilon_M}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_M}\right)}.$$

### Список литературы

1. **Переработка** мусора (ТБО) – инвестиции в будущее. – URL : <http://ztbo.ru/o-tbo/lit/pererabotka-promishlennix-otxodov/utilizaciya-otxodov-plastmass>
2. **Утилизация** полимерной тары и упаковки : учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, М. В. Соколов, И. В. Шашков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 64 с.
3. **Применение** интегральных критериев качества при переработке полимерных материалов валково-шнековым методом / А. С. Клинков, М. В. Соколов, Д. Л. Полушкин и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 870 – 881.
4. **Вторичная** переработка полимерных материалов на вальцах / И. В. Шашков, А. С. Клинков, М. В. Соколов, Д. Л. Полушкин // Полимеры в строительстве : тез. докл. – Казань, 2004. – С. 111.