

# Повышение качества процесса вторичной переработки термопластичных полимеров

## О.Ю. Еренков

*д.т.н., профессор кафедры «Химическая технология и биотехнология» Тихоокеанского государственного университета; г. Хабаровск*

*e-mail: erenkov@list.ru*

## С.П. Исаев

*д.т.н., профессор кафедры «Технологии лесопользования и ландшафтного строительства» Тихоокеанского государственного университета; г. Хабаровск*

## Д.Д. Узинская

*магистрант кафедры «Химическая технология и биотехнология» Тихоокеанского государственного университета; г. Хабаровск*

**Аннотация.** В статье приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию электрофизической обработки термопластичных материалов на их механические свойства. Установлено, что обработка исследуемых термопластов наносекундными электромагнитными импульсами приводит к заметному снижению прочности и твердости материала. Представлено описание нового способа вторичной переработки отходов из термопластов. Новизна предлагаемого технического решения заключается в реализации электрофизической обработки отходов термопластов на стадии их агломерации в процессе переработки. Реализация такой обработки позволит обеспечить получение изделий с качественными характеристиками, максимально приближенными к первичному материалу, а также повысить производительность процесса переработки.

**Ключевые слова:** термопластичные полимеры, вторичная переработка, электрофизическая обработка, наносекундные электромагнитные импульсы, прочность.

### Введение

В связи с непрерывным возрастанием объема производства и потребления термопластичных полимеров увеличивается и количество их отходов. Весьма важным становится вопрос повторной переработки отходов или использования их в различных композициях. При разработке способов переработки производственных отходов главные трудности связаны с их более низким качеством по сравнению с первичными пластмассами, что не позволяет выпускать продукцию с физико-механическими показателями, аналогичными исходным

изделиям. Таким образом, повышение эффективности вторичной переработки отходов термопластов является актуальной задачей, решение которой позволит в значительной степени использовать отходы в качестве мощного сырьевого источника при производстве изделий высокого качества.

Одним из подходов к повышению эффективности вторичной переработки отходов термопластов для производства высококачественной продукции является реализация электрофизической обработки перерабатываемых отходов.

Цель данной работы – исследование влияния электрофизической обработки термопластичных материалов на их прочность и разработка на этой основе новых технических решений по вторичной переработке отходов термопластов. В качестве электрофизической обработки применялись наносекундные электромагнитные импульсы [1].

### Экспериментальные исследования

Проводились экспериментальные исследования прочности термопластичных полимерных материалов в зависимости от параметров обработки образцов наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ). В качестве материалов экспериментальных образцов выбраны наиболее распространенные в различных отраслях промышленности термопластичные пластмассы: полиметилметакрилат (ГОСТ 9784-76) и фторопласт-4 (ГОСТ 1007-80). В качестве источника НЭМИ применялся специальный генератор ГНИ-01-1-6, изготовленный Южно-Уральским государственным университетом [2] и имеющий следующие параметры: длительность импульсов – 1 нс; мощность одного импульса – более 1 МВт; амплитуда импульсов – более 8 кВ; максимальная допустимая частота следования генерирующих импульсов – 1000 Гц; напряженность электрического поля достигает  $10^5 \dots 10^7$  В/м.

Характерной особенностью наносекундных электромагнитных импульсов является их однополярность, что приводит к отсутствию осциллирующих колебаний в излучаемом поле. Следствием этого выступает наличие пространственно-временного направленного действия силы за время одного импульса, создающего условия для воздействия на структуру и физико-химические свойства вещества.

Экспериментальные исследования влияния облучения НЭМИ на прочность термопластов

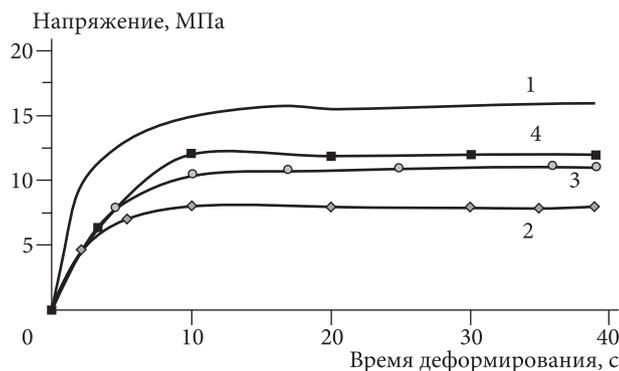


выполнялись следующим образом. На первом этапе плоские образцы полиметилметакрилата и фторопласта, изготовленные в виде двусторонних «лопаток» с прямоугольным сечением в рабочей зоне размером 3×2 мм, подвергались воздействию НЭМИ в течение определенного промежутка времени от 1 до 20 минут. Затем образцы подвергались одноосному растяжению при помощи нагружающего устройства универсальной установки АЛА ТОО ИМАШ 20-75. Кривая нагружения регистрировалась с помощью самописца разрывной установки, при этом испытания проводились при постоянных условиях: выдерживались технология изготовления образцов, температура, влажность, скорость и величина нагружения при одноосном растяжении согласно ГОСТ 11262–80.

На рис. 1 и 2 представлены экспериментальные данные по исследованию прочности полиметилметакрилата и фторопласта, соответственно, в зависимости от времени воздействия НЭМИ. Анализ представленных данных показывает, что облучение исследуемых термопластов НЭМИ в течение 5, 10 и 20 минут приводит к снижению прочности образцов.



**Рис. 1. Прочность полиметилметакрилата в зависимости от времени облучения НЭМИ:** 1 – без облучения; 2 – 5 минут; 3 – 10 минут; 4 – 20 минут



**Рис. 2. Прочность фторопласта в зависимости от времени облучения НЭМИ:** 1 – без облучения; 2 – 5 минут; 3 – 10 минут; 4 – 20 минут

Такой факт можно объяснить следующим образом. Как известно, полимерные материалы имеют тенденцию к изменению физико-механических свойств за счет электронного возбуждения полимерной структуры после электрофизического воздействия [3]. Если происходит электронное возбуждение полимерных цепей, то оно вызывает уменьшение энергий ее связи. Данный эффект приводит к уменьшению механической стабильности нагруженной полимерной сетки и таким образом способствует разрыву цепи, возникновению разрушения или распространению микротрещин, увеличению дефектных мест, т.е. разрыхлению и охрупчиванию и, следовательно, снижению механической прочности материала.

В табл. 1 приведены экспериментальные данные по взаимосвязи между временем обработки термопластов НЭМИ и значениями твердости. Твердость термопластов измеряли по известной методике [4]. Анализ представленных данных показывает, что облучение термопластичных материалов НЭМИ приводит к снижению твердости благодаря проявлению вышеописанного эффекта, о чем свидетельствуют значения твердости, которые снижаются практически при любом времени электрофизической обработки.

Таблица 1.

Материал образцов	Твердость термопластов				
	Твердость, МПа				
	Продолжительность обработки наносекундными электромагнитными импульсами, мин				
	0	5	10	15	20
Фторопласт	30	24	20	25	27
Полиметилметакрилат	190	181	147	158	175

### Новый способ переработки отходов термопластов

На основании представленных экспериментальных данных (рис. 1, 2 и табл. 1) разработан способ обработки заготовок из термопластов. Его важность и актуальность защищена патентом на изобретение [5]. Это изобретение направлено на повышение производительности процесса переработки отходов и получение высококачественных вторичных полимеров в виде гранул для дальнейшего их использования при производстве изделий. Известные в настоящее время способы не обеспечивают высокую производительность и не позволяют получать гранулы вторичных полимеров со свойствами,

максимально приближенными к свойствам первичных материалов, так как во время агломерации происходит термическое деструктурирование (пережигание) материала.

Новый способ, включающий загрузку отходов в агломератор, измельчение отходов, охлаждение измельченной до тестообразного состояния массы, сушку и выгрузку высушенной массы, согласно изобретению, одновременно с измельчением позволяет облучать отходы наносекундными электромагнитными импульсами. В качестве электродов для этого облучения используют пластины – электроды, смонтированные на внутренней поверхности корпуса агломератора, контактирующие с перемещаемыми отходами и изолированные от корпуса.

На рис. 3 приведена схема установки для вторичной переработки отходов из термопластов. Для реализации способа применяется агломератор 1 с загрузочным люком 2. Внутри корпуса 3 агломератора 1 размещены электродвигатели 4 с роторными ножами 5. На внутренней стенке корпуса 3 укреплены пластины-электроды 6 и изолирующие элементы 7. Пластины-электроды 6 соединены известным образом с генератором 8 наносекундных электромагнитных импульсов. Агломератор 1 с помощью гибких трубопроводов 9 соединен с воздуходувкой 10 и циклоном 11. На внешней стенке корпуса 3 закреплены пневмоцилиндр 12 и заслонка 13.

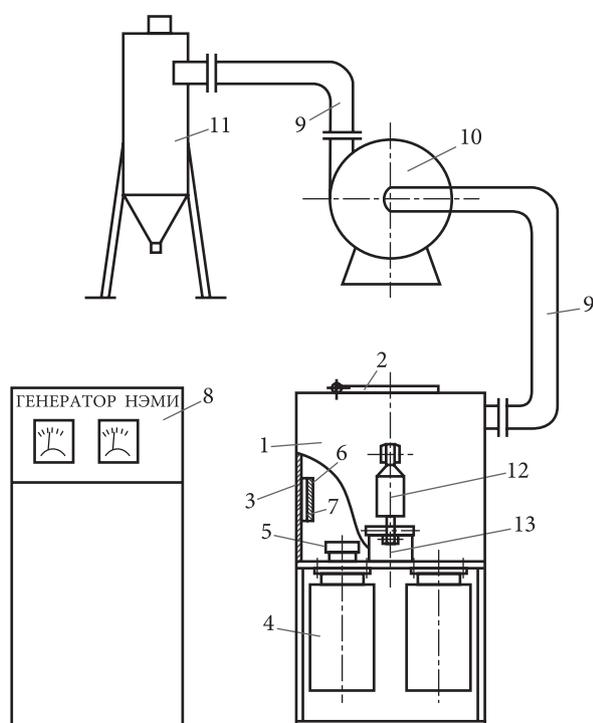


Рис. 3. Схема установки для вторичной переработки отходов из термопластов

Пример реализации способа. В корпус 3 агломератора 1 через загрузочный люк 2 при включенных электродвигателях 4 загружаются отходы термопластов. Измельчение отходов на мелкие частицы осуществляется роторными ножами 5, и вся измельченная масса отходов в результате трения о стенки корпуса 3 нагревается, происходит переход механической энергии в тепловую. Одновременно производится обработка отходов наносекундными электромагнитными импульсами, которые вырабатываются генератором 8 и воздействуют на отходы через пластины-электроды 6. Обработка измельчаемых отходов наносекундными электромагнитными импульсами способствует возбуждению полимерных цепей, что вызывает уменьшение энергии связи. Данный эффект приводит к уменьшению механической стабильности нагруженной полимерной сетки и таким образом способствует разрыву цепи, возникновению и распространению микротрещин в структуре материала отходов, увеличению дефектных мест, т.е. его разрыхлению и охрупчиванию и, следовательно, к снижению механической прочности материала.

Это позволяет снизить тепловую нагрузку операции измельчения отходов и обеспечить температуру нагрева материала ниже температуры плавления, таким образом гарантировано избежать явления термодеструкции материала.

Измельченные отходы расплавляют до образования тестообразной массы. Затем в агломератор 1 подают воду и одновременно включают воздуходувку 10 для отсоса паров воды. Вода охлаждает тестообразную массу, при этом образовавшиеся пары воды отсасываются из агломератора 1 через гибкие трубопроводы 9 воздуходувкой 10 вместе с парами воды, которые конденсируют в циклоне 11, а тестообразная масса благодаря гидродеструкции разделяется на мелкие гранулы. После отсоса паров воды из агломератора воздуходувка отключается и включается электроклапан пневматического цилиндра 12, открывается заслонка 13 и происходит выгрузка продукта из агломератора. После выгрузки включается автоматически электроклапан пневматического цилиндра 12 и заслонка 13 закрывается.

### Выводы

1. Электрофизическая обработка термопластичных полимерных материалов посредством наносекундных электромагнитных импульсов приводит к снижению их физико-механических свойств, о чем свидетельствуют значения прочности на растяжение и твердости, при этом



установлено, что оптимальное время электрофизической обработки составляет 10 минут.

2. Разработан новый способ вторичной переработки отходов из термопластов, в схеме которого реализуется электрофизическая обработка перерабатываемых отходов термопластов посредством наносекундных электромагнитных импульсов, что позволит обеспечить повышение производительности процесса переработки и получение изделий со свойствами, максимально приближенными к первичному материалу.

### Литература

1. Еренков О.Ю., Арямнов П.Л., Химухин С.Н. Способ формования изделий повышенной прочности из эпоксидной смолы. // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2013. – № 4. – С. 30–35.
2. Белкин В.С., Бухарин В.А., Дубровин В.К. и др. Наносекундные электромагнитные импульсы и их применение. / Под ред. В.В. Крымского. – Челябинск: Изд-во Южно-Уральского гос. ун-та, 2001. – 110 с.
3. Карташов Э.М., Цой Б., Шевелев В.В. Структурно-статистическая кинетика разрушения полимеров. – М.: Химия. – 2002. – 736 с.
4. Еренков О.Ю. Исследование твердости обработанной резанием поверхности термопластичных полимерных материалов. // Вопросы материаловедения. – 2008. – № 3(55). – С. 25–30.
5. Патент № 2575726 Российская Федерация, (51) МПК В 29 С 43/02. Способ переработки отходов полиэтиленовой пленки / О.Ю. Еренков, М.Ю. Сарилов, Г.В. Коннова. – № 2014141856/05; заявл. 16.10.2014; Опубл. 10.02.2016, Бюл. № 5.

### Quality improvement of process of secondary processing of thermoplastic polymers

**O.Yu. Erenkov**, *doctor of technical sciences, professor of «Chemical technology and biotechnology» department of the Pacific state university; Khabarovsk*  
e-mail: erenkov@list.ru

**S.P. Isaev**, *doctor of technical sciences, professor of «Technology forestry and landscape construction» department of the Pacific state university; Khabarovsk*

**D.D. Uzinskaya**, *undergraduate of «Chemical technology and biotechnology» department of the Pacific state university; Khabarovsk*

**Summary.** Results of pilot studies on influence of electrophysical processing of thermoplastic materials on their mechanical properties are given in article. It is established that processing of the studied thermolayers by nanosecond electromagnetic impulses leads to noticeable decrease in durability and hardness of material. The description of a new way of secondary processing of waste from thermolayers is submitted. Novelty of the proposed technical solution consists in realization of electrophysical processing of waste of thermolayers at a stage of their agglomeration of technological process of processing. Realization of such processing will allow to provide products with qualitative characteristics as close as possible to primary material, and also to increase processing process productivities.

**Keywords:** thermoplastic polymers, secondary processing, electrophysical processing, nanosecond electromagnetic impulses, durability.

### References

1. Erenkov O.Yu., Aryamnov P.L., Khimukhin S.N. Way of formation of products of the increased durability from epoxy. *Repair, restoration, modernization*. 2013. No. 4, pp. 30–35.
2. Belkin V.S., Bukharin V.A., Dubrovin V.K. Krimskiy V.V. Nanosecond electromagnetic impulses and their application. *Publishing house of the Southern Ural state univercity*. 2001. Chelyabinsk, 110 p.
3. Kartashov E.M., Tsoi B., Shevelyov V.V. Structurally – statistical kinetics of destruction of polymers. *Chemistry*. 2002. Moscow, 736 p.
4. Erenkov O.Yu. A research of hardness of the surface processed by cutting of thermoplastic polymeric materials. *Questions of materials science*. 2008. No. 3(55). pp. 25–30.
5. Patent 2575726 Russian Federation (51) IPC 29 C 43/02. Method for processing waste plastic film / O.Yu. Erenkov, M.Yu. Sarilov, G.V. Konnova. – No. 2014141856/05; appl. 16/10/2014; Publ. 02.10.2016, Bull. 5.