

напряжения холостого хода в 1,12 раз. Аналогично, как и в случае пленок ZnO, при дальнейшем уменьшении толщины SnO<sub>2</sub> наблюдается уменьшения значения тока короткого замыкания. При толщине пленки 62 нм КПД ячейки составляет 0,38%. При уменьшении толщины пленки до 58 нм КПД ячейки уменьшилось до 0,17%. Наблюдаемой уменьшение значения тока для пленок ZnO и SnO<sub>2</sub>, очевидно, связано с тем, что пленка становится настолько тонкой, что в ней образуются разрывы, через которые происходит утечка тока.

### **Список использованных источников**

1 Rogé V., Didierjean J., Crêpellièrè J., Arl D., Michel M., Fechete I., Dinia A., Lenoble D. Tuneable Functionalization of Glass Fibre Membranes with ZnO/SnO<sub>2</sub> Heterostructures for Photocatalytic Water Treatment: Effect of SnO<sub>2</sub> Coverage Rate on the Photocatalytic Degradation of Organics // Catalysts. – 2020. – Vol.10, No.733. – P.1-18. DOI: 10.3390/catal10070733.

2 Гнеденков С., Синебрюхов С. Импедансная спектроскопия в исследовании процессов переноса заряда // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2006. – No. 5. – С. 6–16.

3 Huang Y.F., Inigo A.R., Chang C.C., Li K.C., Liang C.F., Chang C.W., Lim T.S., Chen S.H., White J.D., Jeng U.S., Su A.C., Huang Y.S., Peng K.Y., Chen S.A., Pai W.W., Lin C.H., Tameev A.R., Novikov S.V., Vannikov A.V., Fann W. Nanostructure-dependent Vertical Charge Transport in MEH-PPV Films // Advanced Functional Materials. – 2007. – Vol.17, No.15. – P.2902-2910. DOI:10.1002/adfm.200600825.

4 Dang M.T., Hirsch L., Wantz G. P3HT:PCBM, best seller in polymer photovoltaic research // Advanced Materials. – 2011. – Vol. 23, Iss.31. – P. 3597-3602. DOI: 10.1002/adma.201100792.

УДК 678.033:678.073

**А.В. Касперович, О.М. Касперович, А.Ф. Петрушеня,  
Л.А. Ленартович**

Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Республика Беларусь

### **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА**

*Аннотация.* Введение в полимер функциональных добавок приводит к целенаправленному изменению их свойств. В статье рассматривается влияние

наполнителей, таких как оксиды кремния и порошки металлов, потенциально способствующих регулированию теплопроводности полимеров, на деформационно-прочностные и технологические свойства полиэтилена.

**A.V. Kasperovich, O.M. Kasperovich, A.F.Petrushenya,  
L.A. Lenartovich**

Belarusian State Technological University,  
Minsk, Republic of Belarus

## **STUDY OF THE PROPERTIES OF FILLED POLYMER COMPOSITIONS BASED ON POLYETHYLENE**

***Abstract.** The introduction of functional additives into the polymer leads to a targeted change in their properties. The article discusses the effect of fillers, such as silicon oxides and metal powders, potentially contributing to the regulation of thermal conductivity of polymers, on the deformation-strength and technological properties of polyethylene.*

Полимерные материалы занимают все большую долю в объеме производства многих стран, т.к. они просты в переработке, имеют более низкую стоимость, чем, например, сталь, цветные металлы, керамика. Введение в полимеры наполнителей приводит к получению новых композиционных материалов с улучшенными технологическими и эксплуатационными характеристиками.

Полиэтилен занимает одно из ведущих мест среди термопластов по разнообразию получаемых на его основе материалов различного назначения.

Целью данной работы являлся анализ изменения физико-механических свойств полимерных композиций при введении наполнителей, потенциально способствующих регулированию теплопроводности полимерных материалов, и в частности, полиэтилена.

Ненаполненные полимеры в их естественном состоянии являются теплоизоляторами, теплопроводность которых составляет 0,1-0,4 Вт/м\*К. Это обусловлено тем, что передача тепла в полимерах происходит по фононному механизму. Фононы в образце возникают при тепловых колебаниях частиц и рассеиваются при взаимодействии друг с другом или с дефектами структуры. Процессы возникновения, распространения и рассеивания фононов в полимерах осложняются кооперативным характером движений атомов и групп атомов в макромолекулах. Низкая же теплопроводность может привести к сильным локальным перегревам в материале в экстремальных условиях эксплуатации и к разрушению образцов. Низко/средне

наполненные полимеры имеют теплопроводность 0,3-2 Вт/м\*К, что является низким значением для эффективного рассеивания тепла, необходимого для многих технических применений. Высоконаполненные (> 50 об. %) полимерматричные композиты могут обладать теплопроводностью до 32 Вт/м\*К, и, следовательно, могут быть эффективными, с практической точки зрения, теплопроводящими материалами [1].

Среди используемых на сегодняшний день способов регулирования теплопроводности термопластов можно назвать введение в их состав дисперсных, наноразмерных, а так же волокнистых наполнителей различной химической природы. Это могут быть мелкодисперсные порошки металлов, нанонаполнители на основе углерода, которые при введении в полимерную матрицу в сравнительно небольшом количестве заметно улучшают физико-механические, теплофизические и другие свойства полимерных материалов, а так же кремнийорганические наполнители различных производителей, отличающиеся удельной поверхностью, содержанием оксида кремния, уровнем рН и влагосодержанием.

В работе были исследованы смеси из порошкообразного полиэтилена марки LLDPE M3204RUP и наполнителей, в качестве которых выступали: алюминиевая пудра марки ПАП-2 (ГОСТ 5494-95, плотность 2,7 г/см<sup>3</sup>), нано-оксид цинка (плотность 5,61 г/см<sup>3</sup>, размер частиц 21-23 нм), диоксид кремния марок Т50, Т80, Т110 с размерами частиц 50, 36, 25 нанометров соответственно, и площадью удельной поверхности 350-400 м<sup>2</sup>/г, содержание которых в композициях составляло от 0 до 50 мас. %.

Процесс смешения проводился в расплаве в камере капиллярного вискозиметра при температуре 190-210С, с использованием стандартного капилляра  $d_b=2,095\pm 0,005$  мм. Получаемый пруток нарезался на гранулы, которые в последующем помещались в металлическую рамку для прессования и прессовались на гидравлическом прессе типа ПСУ-10 при температуре  $T_p=150-160^\circ\text{C}$  вначале с усилием в 800-1000 кгс в течение 30 секунд, а затем с усилием в 4000-6000 кгс в течение 2-3 минут.

Согласно полученным в ходе исследований результатам, можно сделать вывод о том, что увеличение содержания алюминиевой пудры в качестве наполнителя в композициях на основе полиэтилена в общем случае приводит к уменьшению таких физико-механических свойств композиций, как предел текучести, относительное удлинение при пределе текучести, относительное удлинение при растяжении.

В то же время при введении уже 5 мас. % алюминиевой пудры наблюдается увеличение прочности при растяжении с 10,8 до 13,57 МПа, при этом относительное удлинение при растяжении падает со 107,3 до 32,6 %.

В то же время введение нано-оксида цинка в том же количестве привело к значительному увеличению относительного удлинения при растяжении (с 107,3 до 250,8%) при незначительном повышении модуля упругости с 352 до 403 МПа.

Введение наполнителей в количествах более 10 мас.% закономерно приводит к снижению деформации и увеличению модуля упругости до 885 и 751 МПа соответственно для алюминиевой пудры и нано-оксида цинка при 50%-ном наполнении. При этом для алюминия прочность при растяжении снижается практически вдвое, а для оксида цинка увеличивается с 10,8 до 14,28 МПа.

При введении оксида кремния удалось достигнуть повышения прочности при разрыве на 20% при введении всего 1 мас.% наполнителя Т80 с размером частиц 36 нм, но при этом относительное удлинение снизилось практически в три раза от исходного полиэтилена. Дальнейшее увеличение содержания наполнителя приводило к незначительному увеличению прочности при значительном снижении относительного удлинения и увеличении модуля упругости при растяжении.

Введение оксида кремния марки Т110 с размером 25 нм в количестве 1 мас.% привело к повышению модуля упругости в 1,5 раза по сравнению с исходным полиэтиленом при сохранении прочности и относительного удлинения при растяжении.

Получаемые материалы так же должны иметь технологические характеристики, позволяющие их перерабатывать стандартными методами в заданном температурном диапазоне. Одной из таких характеристик является показатель текучести расплава (ПТР). Можно отметить, что введение указанных наполнителей не приводило к резкому изменению ПТР. Он находился в пределах показателей, позволяющих перерабатывать эти композиции как литьем под давлением, так и экструзией. Значительное уменьшение ПТР наблюдается только при содержании наполнителей более 20 мас. %. В то же время для оксида цинка даже при 50%-ном наполнении ПТР составил 3,09 г/10 мин.

Таким образом, введение в композиции на основе полиэтилена марки LLDPE М 3204RUP наполнителей, используемых для регулирования теплопроводности термопластов, приводит к повышению ряда деформационно-прочностных характеристик при

сохранении ПТР в пределах значений, достаточных для переработки этих материалов стандартными методами – экструзией и литьем под давлением. При этом можно выделить поведение композиций, полученных с использованием нано-оксида цинка в том числе и при высоком (50 мас.%) проценте наполнения.

#### **Список использованных источников**

1. Шевченко В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов: учебное пособие.–М.: 2010.– 98 с.

УДК 674.81

**Э.А. Кириллова, Е.В. Микрюкова**

Поволжский государственный технологический университет»,  
г. Йошкар-Ола, Россия

### **МНОГОСЛОЙНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРЫ**

*Аннотация.* Предлагается использование древесной коры для изготовления внутреннего слоя многослойных древесных материалов. Рассмотрена технология изготовления некоторых видов таких материалов.

**E.A. Kirillova, E.V. Mikryukova**

Volga State Technological University,  
Yoshkar-Ola, Russia.

### **MULTILAYER WOOD MATERIALS USING BARK**

*Abstract.* The use of bark for the manufacture of the inner layer of multilayer wood materials is proposed. The technology of manufacturing some types of such materials is considered.

Получающиеся в процессе переработки древесные отходы: кора, опилки, щепа могут быть продуктивно использованы в условиях сельского хозяйства, в энергетических целях, в качестве сырья для получения различных строительных плит и других материалов. Решение проблемы промышленного использования коры приобретает важное значение в плане комплексного использования древесного сырья и рассматривается как одна из актуальных задач [1].

Кора является малоценным отходом, имеющим ограниченное применение. Утилизация древесного отхода, такого как древесная кора,