

## Электропроводящие полимерные материалы на основе стирол-бутадиен-стирола

М. И. Абдуллин, А. Б. Глазырин\*, А. А. Басыров, А. С. Гадеев,  
А. А. Николаева, И. И. Нургалеев

*Башкирский государственный университет  
Россия, г. Уфа, 450078, улица Мингажева, 100.*

*\*Email: glaab@inbox.ru*

Изучены электрические свойства полимерно-композиционных материалов на основе стирол-бутадиен-стирольного каучука содержащих в качестве наполнителей технический углерод марки Printex XE-2B. Выявлено влияние пластификатора электропроводность полимерных композиций. Определены электро-температурные характеристики полученных композиций. На основе разработанных угленасыщенных композитов методом 3D-печати по технологии FDM получены эластичных электропроводящих трехмерных прототипов с различным электрическим сопротивлением для проведения дальнейших испытаний.

**Ключевые слова:** технический углерод, СБС LG-50, Printex XE-2B, 3D печать 3D печать.

Технология 3D-печати является одной из наиболее бурно развивающихся технологий в современном мире. Впервые появившись как инструмент для визуализации и прототипирования, 3D-печать завоевывает все более обширные области приложения. Наиболее применимой среди технологий 3D-печати является технология FDM (Fused Deposition Modeling), основанной на изготовлении материалов и изделий путем последовательного нанесения слоев расплавленного термопластичного материала [1]. Одним из перспективных направлений в технологии 3D-печати является трехмерное прототипирование электропроводящих объектов, получаемых на основе термопластов и термоэластопластов, наполненных техническим углеродом [2]. Разработаны токопроводящие композиции на основе АБС-пластика, полипропилена и некоторых других полимеров [3–5]. Однако недостатком таких композиций является их низкая электропроводимость, что ограничивает использование указанных материалов в 3D-печати. Целью работы являлось изучение влияния наполнителей и полимерной матрицы на электрические свойства полимерных композитов на основе стирол-бутадиен-стирольного каучука с необходимыми для 3D-печати электропроводящими свойствами.

### Экспериментальная часть

Исходные вещества: стирол бутадиеновый сополимер марки LG-501(СБС LG-501); технический углерод (ТУ) марки PrintexXE-2B; масло пластификатор нефтяной ПН-6 (масло ПН-6).

Состав анализируемых образцов (масс.%): СБС LG-501/ТУ PrintexXE-2В – 70–95/5–30; СБС LG-501/маслоПН-6/ТУ PrintexXE-2В – 15–60/20–70/15–25

Оборудование: экструдер (характеристики шнека L=300 мм, D=20 мм, L/D=15, глубина гребня 16.5мм, шаг витка 20мм); кондуктометр (диапазон измерений 1Ом – 200 МОм, относительная погрешность 0.5%); масляный термостат.

Композиции на основе СБС готовили путем смешения в металлическом цилиндре в течение 5 мин при скорости перемешивания 440 мин<sup>-1</sup>.

Получаемые порошкообразные композиции компаундировали на лабораторном одношнековом экструдере при температуре 160–180 °С с последующим дроблением экструдата.

Расчет удельного электрического сопротивления проводили по формуле:

$$\rho = \frac{\pi \cdot R \cdot r^2}{l} \quad (1)$$

где:  $\rho$  – удельное сопротивление, Ом×см;

R – сопротивление образца, Ом;

r – радиус образца, см;

l – длина образца, см.

Логарифм удельной электропроводности определяли по формуле:

$$\lg \sigma = \lg \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

### Обсуждение результатов

Электропроводящие углеродные наполнители при введении их в полимерную матрицу способны обеспечивать значительное снижение электрического сопротивления композиционного материала по сравнению с сопротивлением исходного полимера. Установлено, что введение технического углерода в состав полимерной композиции приводит к резкому увеличению электропроводности (рис. 1).

Следует отметить, что низкие реологические характеристики полимерных материалов на основе СБС наполненных ТУ PrintexXE-2В не позволяют использовать полученные полимерные материалы для дальнейшей переработки. В связи с этим, для увеличения текучести полученных полимерных материалов введен пластификатор, масло ПН-6, и изучено его влияние на электропроводность композиции.

Как следует из экспериментальных результатов, введение пластификатора оказывает существенно влияние на электропроводность полимерных материалов на основе СБС (рис. 2). Установлено, что введение пластификатора в состав полимерной композиции приводит к снижению электропроводности полимерных материалов. Так с увеличением содержания пластификатора масла ПН-6 от 10 до 60масс.%, в полимерной компо-

зиции включающий ТУ Printex XE-2В 20масс%, наблюдается уменьшение электропроводности от 0.13 до 0.05 (Ом×см)<sup>-1</sup> (рис. 2). Наблюдаемое уменьшение электропроводности полимерных материалов, с введение пластификатора, следует связывать с увеличением текучести полимерной матрицы и «изоляцией» полимером электропроводящих зон полимерного материала. В случае полимерных композиций содержащих ТУ Printex XE-2В 15масс% с введением пластификатора от 45 до 70масс.% наблюдается более значительное падение электропроводности от 0.030 до 0.008 (Ом×см)<sup>-1</sup>.

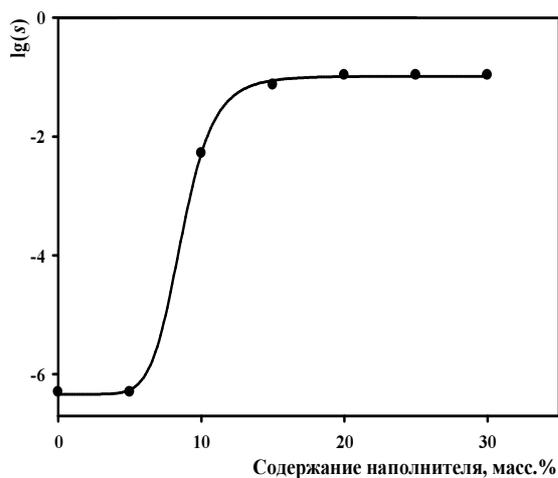


Рис. 1. Зависимость электропроводности полимерной композиций СБС-LG от содержания технического углерода ТУ PrintexXE-2В.

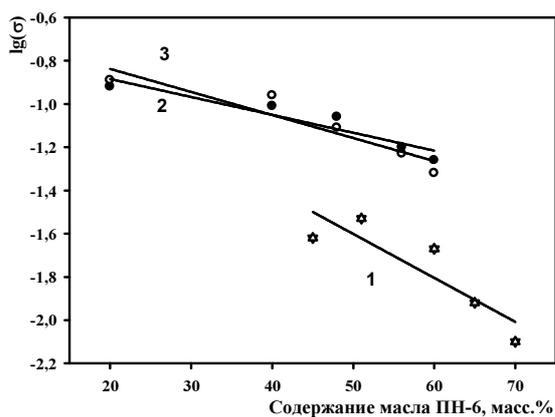


Рис. 2. Зависимость электропроводности полимерных композиций СБС-LG от содержания пластификатора (содержание ТУ Printex XE-2В: 1–15 масс%; 2–20 масс%; 3–25 масс%).

Одним из важных показателей электропроводящих полимерных композиций является электротемпературная характеристика, во многом определяющая условия эксплуатации изделий на их основе. Для композиций на основе СБС наполненных ТУ Printex ХЕ-2В и масло ПН-6 изучены электротемпературные характеристики в интервале температур от 20 до 140°C. Сопротивление измеряемого образца при увеличении температуры от 80 до 140°C уменьшается от 15.0 до 11.5 Ом×см, что по видимому связано с структурирование электропроводящей сетки технического углерода в полимерной матрице. При последующем цикле охлаждения заметного изменения электропроводности полимерной матрицы не наблюдалось.

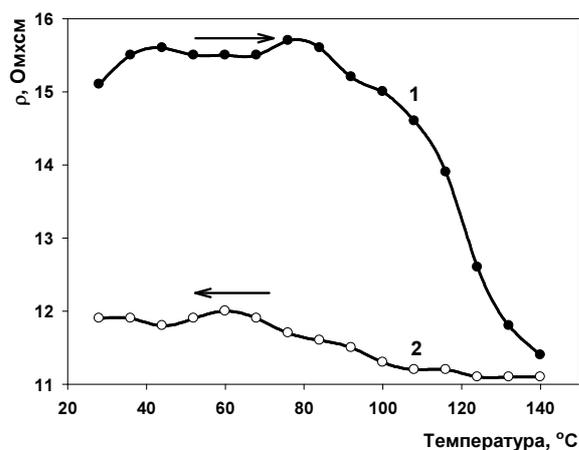


Рис. 3. Зависимость электрического сопротивления полимерной композиции на основе СБС и ТУ PrintexХЕ-2В (содержание ТУ 20масс%, содержание ПН-6 65масс%, скорость подъема температуры 1°C/мин): 1 – нагрев образца; 2 – охлаждение образца.

Методом 3D-печати по технологии FDM на основе СБС-компаундов с содержанием углерода PrintexХЕ-2В 15 масс.% получены опытные модели эластичных электропроводящих трехмерных прототипов, которые использованы для проведения дальнейших испытаний в качестве датчиков линейного перемещения [6].

## Выводы

Разработаны полимерные компаунды на основе СБС, содержащие в качестве наполнителя технический углерод марки Printex ХЕ-2В, обладающие электропроводностью, необходимыми для получения электропроводящих материалов и изделий методом 3D-печати.

## Литература

1. Бабкин О. Э. 3D макетирование: технологии, оборудование, материалы: Монография. СПб.: изд. СПбГУКиТ, 2013. 97с.

2. Абдуллин М. И., Басыров А. А., Гадеев А. С. и др. Реологические свойства расплавов смесей АБС-пластика с техническими углеродами марок П805 и П803Э и Printex XE-2B // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. №4. С. 25–30.
3. Runqing Oua, Rosario A. Gerhardta, Courtney Marrettb, Alexandre Moulartb, Jonathan S. Colton. Assessment of percolation and homogeneity in ABS/carbon black composites by electrical measurements // Composites. Part B. 2003. V.34. P. 607–614.
4. Catherine Jewell. 3D-Printing and the Future of Stuff [Электронный ресурс] // <http://www.wipo.int>: WIPO Magazine, 2013. URL:
5. [http://www.wipo.int/wipo\\_magazine/en/2013/02/article\\_0004.html](http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2013/02/article_0004.html) (дата обращения: 22.11.2016).
6. Гуль В. Е., Шенфиль Л. З. Электропроводящие полимерные композиции. М.: Химия, 1984. 240 с.
7. Абдуллин М. И., Басыров А. А., Колтаев Н. В. и др. Токопроводящие полимерные композиции для 3D-печати // Бюллетень науки и практики. 2016. №4. С. 44–50.

Статья рекомендована к печати кафедрой технической химии и материаловедения БашГУ  
(докт. хим. наук, проф. А. А. Мухамедзянова)

## Electrically conductive polymeric materials based on styrene-butadiene-styrene

M. I. Abdullin, A. B. Glazyrin\*, A. A. Basyrov, A. S. Gadeev,  
A. A. Nikolaeva, I. I. Nurgaleev

*Bashkir State University*

*100 Mingazheva Street, 450078 Ufa, Russia.*

*Email: glaab@inbox.ru*

We studied the electrical properties of polymer-composite materials based on styrene-butadiene-butadiene rubber filled with carbon black Printex XE-2B. The effect of the plasticizer on the electrical conductivity of polymeric compositions. Determined temperature electrical characteristics of the compositions. On the basis of the developed carbon-filled compositions by 3D-printing by FDM technology obtained conductive elastic three-dimensional prototypes with different electrical resistance to carry out further tests.

**Keywords:** carbon black, SBS LG-50, Printex XE-2B, 3D printing.