

**Исследование упрочненных ориентированных композитов с сегрегированной электропроводящей структурой, полученных твердофазным формованием смеси реакторного порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена и углеродных наночастиц**

Лебедев О.В.<sup>1,2</sup>, Озерин А.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

В данной работе впервые, с использованием способа твердофазного формования в условиях деформации однородного сдвига [1], получены и исследованы упрочненные ориентированные композиты с электропроводящей структурой сегрегированного типа на основе реакторного порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), имеющего специальную морфологию, и наноразмерных углеродных частиц. Разработанные композиционные материалы, при условии оптимизации условий их получения, характеризуются сочетанием высокого уровня упруго-прочностных характеристики и высокой электропроводности [2, 3]. Типичные значения характеристик для композитов на основе СВМПЭ и графита, достигнутые к настоящему времени, составляют: начальный модуль упругости – до 1.5-2 ГПа; разрывная прочность – до 200 МПа; разрывное удлинение при испытании на растяжение – 10-20 %; удельное сопротивление –  $10^{-1}$ -10 Ом\*см.

Выполнены сравнительные экспериментальные исследования структуры, механических, электрофизических и теплофизических свойств полученных композитов на основе СВМПЭ для модельного ряда высокодисперсных электропроводящих углеродных наполнителей, имеющих различное соотношение геометрических размеров частиц: плоской формы - графит, цилиндрической формы - углеродные нанотрубки, глобулярные частицы - электропроводная марка технического углерода.

Установлено, что при увеличении степени ориентационной вытяжки наполненного электропроводящего композита в условиях однородного сдвига происходит уменьшение проводимости композита, вплоть до ее полного исчезновения, которое носит пороговый характер для композитов с частицами графита в качестве наполнителя, и плавный для композитов с нанотрубками и техническим углеродом.

Впервые, для ориентированных электропроводящих композитов со структурой наполнителя сегрегированного типа, обнаружен и исследован "тензоэффект" – обратимое изменение электросопротивления образца при его малых упругих деформациях в циклах "растяжение-усадка" в направлении оси ориентационной вытяжки.

На основе экспериментального и теоретического анализа разработана и предложена схема изменения взаимного расположения электропроводящих областей при ориентации полимерных композитов на основе СВМПЭ для наполнителей различного типа, качественно объясняющая наблюдаемые особенности изменения электропроводности композитов с различным типом наполнителя при ориентационной вытяжке и малых упругих деформациях ориентированных образцов в направлении их оси ориентации.

Исследованы температурные зависимости сопротивления композитов с различными типами наполнителей в интервале температур от температуры жидкого азота до температуры плавления СВМПЭ.

Показано, что для композитов СВМПЭ/НГ и СВМПЭ/ТУ при увеличении температуры образца от температуры жидкого азота до температур, примерно соответствующих температуре  $\beta$ -релаксационного перехода в СВМПЭ ( $\sim 240$  К), происходит падение сопротивления образцов, которое сменяется затем ростом сопротивления. Для композита СВМПЭ/УНТ наблюдали падение сопротивления до температур порядка температуры  $\alpha$ -релаксационного перехода в СВМПЭ ( $\sim 320$  К), с последующим небольшим ростом сопротивления.

Отмеченные особенности температурных зависимостей сопротивления могут быть объяснены с учетом анализа температурной зависимости сопротивления частиц наполнителя, составляющих проводящий кластер, и изменения сопротивления проводящего кластера, как целого.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-03-01120.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kechek'yan A.S., Mikhailik E.S. et al. // Effect of Preliminary Compression and Uniform Shear on the Deformation Behavior of a Filled Polymer Nanocomposite in Orientation Stretching // Dokl. Chem. - 2013. – V.449. - № 1. - PP. 94-97.
2. Lebedev, O.V., Kechek'yan, A.S., Shevchenko, V.G., Kurkin, T.S., Beshenko, M.A., Ozerin, A.N. // Strengthened Electrically Conductive Composites Based on Ultra High Molecular Weight Polyethylene Filled with Fine Graphite. // Dokl. Chem. – 2014. - V. 456. - № 2. - PP. 87–90.
3. Lebedev, O.V., Ozerin, A.N. et al. // Strengthened Electrically Conductive Composite Materials Based on Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Reactor Powder and Nanosized Carbon Fillers // Nanotechnologies in Russia. - 2015. - V. 10. - № 1-2. - PP. 42–52.