

Исследование механизмов фазового разделения при получении электропроводящих полимерных нанокомпозитных материалов на основе полипропилена и наноразмерных углеродных наполнителей

Мухортов Л.А.^{1,2}, Лебедев О.В.^{1,2}, Озерин А.Н.²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

Для изучения процессов фазового разделения, происходящих в гетерофазных системах, в которых одна из фаз представлена полимером, находящимся в состоянии расплава, а вторая является наноразмерным электропроводящим углеродным модификатором, были получены и исследованы полимерные композиционные материалы на основе полипропилена с добавлением одностенных углеродных нанотрубок (ОСУНТ) марки Tuball (производство OCSiAl, г. Новосибирск) и технического углерода (ТУ) марки П276Э.

В ходе исследований было обнаружено, что первичный композиционный материал, получаемый напрямую из экструдера, обладает незначительными электропроводящими характеристиками (удельное сопротивление $> 10^{12}$ Ом*см) при некоторых заданных концентрациях наполнителя (0,5 масс.% для ОСУНТ и 15 масс.% для ТУ).

Было обнаружено, что при прессовании материала, полученного экструзионным методом, с повторным переводом материала в состояние расплава (нагрев до 473К) и последующим его быстрым (3 К/мин до 343К) охлаждением электропроводность материала резко увеличивается до 10^3 Ом*см. Исходя из предположения, что данный эффект возникает из-за различного содержания аморфной и кристаллической фазы в конечном материале, были проведены эксперименты, предполагающие различную скорость охлаждения. В результате было установлено, что для материалов, полученных из экструдера и полученных мгновенным (погружение расплава в ледяную воду 273К) охлаждением, доля кристаллической фазы практически одинакова, но при этом последний обладает заметной электропроводностью. Дальнейшее увеличение доли кристаллической фазы приводит к уменьшению значения удельного сопротивления материала (вплоть до уменьшения на порядок при скорости охлаждения 1К/мин).

Проведя исследования материала путем пошагового удаления сверхтонких слоев с поверхности нанокомпозита, было обнаружено, что проводимость в композитных материалах, полученных вышеописанными способами, обеспечивается тонким поверхностным слоем (несколько мкм) независимо от типа наполнителя.

Данное явление может быть объяснено процессами фазового разделения, приводящими к тому, что наполнитель вытесняется из объема полимера, где изначально его концентрации недостаточно для образования перколяционной электропроводящей системы, на поверхность, где концентрация достигает необходимого значения для появления высокой электропроводности. Это явление было подробно исследовано посредством построения кривых зависимости значения сопротивления от времени нахождения композита в состоянии расплава (473К). Сопротивление измерялось четырёхзондовым методом с последующим получением кривых охлаждения, которые показали рост сопротивления на порядок при температурах близких к характерным температурам α -релаксации.

Исследования подобных эффектов могут быть полезны для определения оптимальных условий для производства экранирующих слоев из полимерных нанокомпозитных материалов в силовых кабелях при минимизированном расходе электропроводящего наноразмерного наполнителя.