

**Исследование перколяционных свойств неэлектропроводящих полимерных
нанокompозитов на примере полипропилена, наполненного наноалмазной шихтой
детонационного синтеза**

О.В. Лебедев^{1,2}, А.Н. Озерин²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

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

С целью изучения влияния концентрации наноразмерного наполнителя на свойства полимерного композитного материала, в особенности вблизи порога перколяции для систем, полученных объемной модификацией, были наработаны опытные партии полимер-наноалмазных композитов путем наполнения смешением в экструдере полипропиленовой (ПП) полимерной матрицы частицами наноалмазной шихты (НАШ) детонационного синтеза. Были проведены многосторонние исследования физических свойств полученных композитов в зависимости от содержания НАШ в материале. Выбор частиц НАШ в качестве наполнителя был вызван их доступностью, высокодисперсностью и свойствами, близкими к наноалмазам, что характеризует их как исключительно удобный вариант для создания нанокompозитов на их основе [1].

Было обнаружено, что в ходе трибологических испытаний уже при небольших добавлениях НАШ в ПП матрицу наблюдается значительное уменьшение износа в сравнении с ненаполненным полимером. Однако, одновременно наблюдается резкое повышение замеряемой температуры контакта полимера со стальным контртелом в процессе трения, а также коэффициента трения (более, чем в 2 раза). Эти величины при росте концентрации НАШ в композите остаются примерно на одном уровне, до тех пор, пока содержание шихты не достигает некоторого порогового значения, после которого температура контакта и коэффициент трения возвращаются к характерным для немодифицированной ПП матрицы значениям.

Для объяснения этого эффекта были проведены дополнительные исследования структуры и свойств материалов методами рентгеноструктурного анализа, ДМА и ДСК, а также были проведены измерения значений теплопроводности композитных материалов в зависимости от содержания в них НАШ и были исследованы поверхности наполненных композитов и немодифицированного ПП методом АСМ до и после трибологических испытаний. Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что при увеличении концентрации НАШ зависимость от нее степени кристалличности для полимерной матрицы имеет пороговую зависимость, резкое падение для которой наблюдается около ~20 масс. %. Этот же результат был подтвержден методом ДСК. Полученное значение порогового содержания НАШ для степени кристалличности совпадает с таковым для концентрационных зависимостей для трибологических свойств (температура контакта и коэффициент трения), а также с результатами ДМА, которые демонстрируют, что после плавления композиты с концентрацией выше порогового значения обладают намного большей вязкостью по сравнению с таковой для низких концентраций.

Исследование методом АСМ поверхности наполненных композитов до и после трибологических испытаний выявило образование ориентированных в направлении истирания структур, состоящих из жестких частиц НАШ. Их наличие позволяет качественно объяснить наблюдаемое уменьшение износа при испытаниях в режиме сухого трения модифицированных поверхностей композитов. В случае же превышения порога перколяции в поверхностном слое для частиц НАШ возможно резкое увеличение коэффициента теплопроводности, что позволяет более эффективно отводить тепло от зоны контакта, тем самым уменьшая вклад адгезионной составляющей, проявляющей себя из-за образования в зоне контакта полимер-контртело некоторого количества расплава полимера. Кроме того, за счет образования перколяционной системы, контртелу становится сложнее отрывать агрегаты НАШ, которые могут в дальнейшем выступать в роли абразива. Таким образом, можно объяснить резкое изменение трибологических свойств композитов при переходе через пороговое значение концентрации.

Литература

1. *Tikunova, E.P., Kostina, Y. V., Kurkin, T.S., Yablokova, M.Y., Ozerin, A.N.*: Curing of multicomponent thermoreactive binders in the presence of surfactant highly dispersed particles of a nanodiamond soot // *Polym. Sci. Ser. B.* 2015. V. 57. P. 39–48.