УДК 678.5:620.197.6

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРНЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАЛОСЛОЙНЫМ ГРАФЕНОМ

Е. В. ОВЧИННИКОВ[1], А. А. ВОЗНЯКОВСКИЙ[2], Д. А. ЛИННИК[1],
Е. И. ЭЙСЫМОНТ[1], А. П. МИКЛАШЕВИЧ[1]
[1]Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь
[2]Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург, Россия

Полиэфирные порошковые покрытия широко применяются для защиты металлических конструкций и деталей, используемых в строительстве и машиностроении, от воздействия окружающей среды, механических нагрузок и изнашивания. Одним из перспективных способов повышения их эксплуатационных характеристик является модифицирование полимерной матрицы высокодисперсными углеродными наноматериалами. Особый интерес представляет малослойный графен, обладающий высокой удельной поверхностью, механической прочностью и способностью изменять свойства полимерной матрицы при относительно небольшом содержании [1]. Эффективность модифицирования графеном определяется не только содержанием наноуглеродного наполнителя, но и характером его распределения в полимерной матрице, состоянием межфазной границы «графен – полимер» и особенностями формирования покрытия.

Цель работы – исследовать влияние малослойного графена на физико-механические и триботехнические свойства полиэфирных порошковых покрытий, сформированных методом электростатического осаждения, и определить оптимальную концентрацию наноуглеродного модификатора.

В качестве полимерной матрицы использовали полиэфирный порошок, в который вводили малослойный графен в концентрациях 0,01 мас. %, 0,1 мас. %, 0,5 мас. % и 1 мас. %. Для сравнения исследовали покрытие на основе исходного полиэфирного порошка без добавления графена. Полученные композиции наносили на металлическую подложку методом электростатического осаждения с последующей термической обработкой, обеспечивающей оплавление порошкового слоя и формирование сплошного полимерного покрытия. Оценку эффективности модифицирования проводили по комплексу физико-механических и поверхностных характеристик. Исследовали твердость и показатели сопротивления механическому воздействию, а также триботехнические характеристики сформированных покрытий. Дополнительно оценивали состояние поверхности методом измерения краевого угла смачивания. По значениям краевых углов с использованием метода ОВРК определяли свободную поверхностную энергию, а также её полярную и дисперсионную составляющие. Установлено, что введение малослойного графена заметно влияет на физико-механические характеристики полиэфирных покрытий. Характер изменения

исследованных параметров зависит от концентрации модификатора. При низком содержании графена эффект его введения проявляется уже при концентрации 0,01 мас. %, однако наиболее выраженное изменение комплекса исследованных характеристик наблюдается при увеличении концентрации до 0,1 мас. %. При концентрации 0,1 мас. % малослойного графена получено наиболее благоприятное сочетание физико-механических и триботехнических характеристик покрытия. Эта концентрация соответствует области оптимального содержания наноуглеродного модификатора в исследованном диапазоне. Дальнейшее увеличение концентрации графена до 0,5 мас. % и 1 мас. % не приводит к пропорциональному улучшению свойств покрытия, что указывает на выраженную зависимость эксплуатационных характеристик от количества введённого модификатора. Изменение физико-механических свойств сопровождается изменением поверхностного состояния полиэфирного покрытия. Результаты измерения краевых углов смачивания показывают, что введение малослойного графена влияет на характер взаимодействия поверхности с тестовыми жидкостями. Расчёт свободной поверхностной энергии методом ОВРК выявил зависимость энергетических характеристик поверхности от концентрации графена. Изменяются как суммарное значение свободной поверхностной энергии, так и соотношение её полярной и дисперсионной составляющих. Полученные результаты имеют значение для оценки триботехнического поведения покрытий, поскольку состояние поверхностного слоя непосредственно определяет характер контактного взаимодействия с контртелом. Введение малослойного графена изменяет свойства поверхностного слоя полиэфирной матрицы и оказывает влияние на сопротивление покрытия механическому воздействию и изнашиванию. Наиболее благоприятные характеристики комплекса свойств отмечены при концентрации графена 0,1 мас. %.

Таким образом, показано, что модифицирование полиэфирного порошка малослойным графеном в диапазоне концентраций 0,01 мас. %...1 мас. % позволяет целенаправленно изменять физико-механические, поверхностные и триботехнические характеристики сформированных покрытий. Установлена оптимальная концентрация модификатора – 0,1 мас. % малослойного графена, при которой достигается наиболее благоприятное сочетание исследованных свойств. Полученный результат свидетельствует о перспективности использования малослойного графена в качестве наноуглеродного модификатора полиэфирных порошковых покрытий для повышения их эксплуатационных характеристик при защите металлических конструкций и деталей от механического и трибологического воздействия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Получение защитных покрытий на основе частиц малослойного графена методом химической сшивки / А. А. Возняковский, А. П. Возняковский, С. И. Титова [и др.] // Журнал технической физики. – 2025. – Т. 95, № 2. – С. 304–309.