

УДК 541.64:532.77

DOI: 10.17223/00213411/64/7/61

Г.М. МАГОМЕДОВ¹, Г.В. КОЗЛОВ², И.В. ДОЛБИН²

СТРУКТУРНЫЙ ВАРИАНТ ПРАВИЛА СМЕСЕЙ ДЛЯ НАНОКОМПОЗИТОВ ПОЛИМЕР/2D-НАНОПОЛНИТЕЛЬ

Показана возможность корректного применения модифицированного правила смесей для описания модуля упругости полимерных нанокомпозитов. Обнаружено, что степень агрегации 2D-нанонаполнителя (оксида графена), характеризуемая числом его пластин в одном агрегате (тактоиде), является единственным фактором, определяющим модуль упругости этих наноматериалов при фиксированных содержании нанонаполнителя и полимерной матрице. Качество функционализации 2D-нанонаполнителя определяется ее способностью повышать взаимодействия полимерная матрица – нанонаполнитель и не изменять (или ослаблять) взаимодействия между пластинами нанонаполнителя.

Ключевые слова: нанокомпозит, оксид графена, функционализация, модуль упругости, правило смесей, агрегация, эффективность 2D-нанонаполнителя.

Введение

Как хорошо известно [1], первый и наиболее простой способ описания механических свойств полимерных композитов представлен правилом смесей в его различных модификациях. Одна из этих модификаций использует следующее уравнение [2]:

$$E_n = (\eta_{\text{эфф}} E_{\text{нан}} - E_m) \varphi_n + E_m, \quad (1)$$

где E_n , $E_{\text{нан}}$ и E_m – модуль упругости нанокомпозита, нанонаполнителя и матричного полимера соответственно; $\eta_{\text{эфф}}$ – фактор эффективности ориентации анизотропного нанонаполнителя; φ_n – объемное содержание нанонаполнителя.

Очевидным недостатком уравнения (1) является неопределенность параметра $\eta_{\text{эфф}}$. Так, авторы [3] показали, что для тонких пленок нанокомпозитов поливиниловый спирт/углеродные нанотрубки величина $\eta_{\text{эфф}} = 0.38$. Однако оценки модуля упругости E_n для нанокомпозитов полиэтилен-терефталат (ПЭТ)/оксид графена (ОГ) в интервале $\varphi_n = 0.0031$ – 0.0188 при указанной выше величине $\eta_{\text{эфф}}$, согласно уравнению (1), дали значения $E_n = 1.20$ – 4.77 ГПа, тогда как полученные экспериментально величины $E_n = 0.77$ – 0.55 ГПа. Иначе говоря, наблюдается как качественное, так и количественное несоответствие теории и эксперимента. Кроме того, уравнение (1) не учитывает такой существенный эффект, как агрегация наполнителя, особенно важный для полимерных нанокомпозитов. Поэтому цель настоящей работы – структурная модификация правила смесей (уравнения (1)) с учетом агрегации 2D-нанонаполнителя на примере нанокомпозитов полиэтилен-терефталат/оксид графена [4].

Эксперимент

В качестве матричного полимера использован полиэтилен-терефталат производства фирмы «Torgu Saehan» со средневесовой молекулярной массой $\overline{M}_w = 1.92 \cdot 10^5$. Нанонаполнителем служил оксид графена, приготовленный согласно модифицированному методу Хаммерса. Для функционализации ОГ была выполнена его реакция типа S_N2 с алкилбромидом, который легко реагирует с гидроксильными, эпоксидными и карбоксильными группами на поверхности ОГ [4].

Нанокомпозиты ПЭТ/ОГ получены смешиванием компонент (ПЭТ и ОГ) в 0-хлорфеноле и последующей обработкой смеси ультразвуком в течение 1 ч. После этого пленки нанокомпозитов ПЭТ/ОГ были получены методом полива этих растворов с разным содержанием нанонаполнителя на горизонтальную подложку. Затем растворитель медленно испарялся при комнатной температуре в течение суток и окончательно пленки сушились под вакуумом при температуре 343 К в течение суток. Содержание оксида графена в рассматриваемых нанокомпозитах варьировалось в пределах 0.5–3.0 мас. % [4].

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>