

$$a = (\sum x_{0i} \sum z_{1i}^2 - \sum z_{1i} \sum x_{0i} z_{1i}) / \Delta, \quad (16)$$

$$b = (N \sum x_{0i} \sum z_{1i} - \sum x_{0i} \sum z_{1i}) / \Delta, \quad (17)$$

где

$$\Delta = N \sum z_{1i}^2 - (\sum z_{1i})^2 \quad (18)$$

После расчетов по формулам (16), (17), (18) были получены значения $a=1,513E-04$, $b=3,041$ т.е. усредненная зависимость между X_0 и Z_1 имеет вид:

$$x_0 = 0,0001513 + 3,041z_1 \quad (19)$$

Зависимость (19) имеет важное значение при наладке динамических характеристик центробежной установки. Она использовалась для решения задачи динамической балансировки ее ротора на месте без разборки. Так как в точке А измерить горизонтальные колебания практически невозможно, то измерялись вертикальные колебания в точке В и используя формулу пересчета (19) определялись горизонтальные колебания ротора в точке А. Далее динамическая балансировка ротора центробежной установки выполнялась методом пробных пусков по известным алгоритмам [3]. Применение данного метода наладки динамических характеристик центробежной установки позволило уменьшить уровень вибраций, вызванных дисбалансом ротора до 0,05мм/с, что в 1,5 раза меньше, чем при раздельной балансировке ее элементов на балансировочных станках.

Список литературы: 1. Кельзон А.С., Циманский Ю.П., Яковлев В.И. Динамика роторов в упругих опорах. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981,-280с. 2. Маслов Г.С. Расчеты колебаний валов. Справочник.2-е издание, перераб. и доп. - М: Машиностроение, 1980-151с. 3. Вибрации в технике. Справочник т.6 Защита от вибрации и ударов / под. ред. К.В. Фролова - М.: Машиностроение, 1981-456с.

Сдано в редакцию 21.01.07

РАЗМЕРНЫЙ ФАКТОР МОДИФИЦИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НАНОПОЛНИТЕЛЕЙ В ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ

Лиопо В.А., Струк В.А., Авдейчик С.В., Клецко В.В. (УО «Гродненский
государственный университет имени Янки Купалы»)

It was investigated the influence of nanoparticles forms and sizes to modify action on polymeric composite materials. It was suggested the complex criterion of nanoparticles habit and change for doing effective nanomodifiers.

Введение. Наноконпозиционные материалы на основе полимерных матриц находят все большее применение в современном машиностроении [1, 2]. Служебные характеристики наноконпозитов зависят не только от содержания низкоразмерного модификатора [2–6], но и от особенностей его зарядового состояния, определяющего активность в процессах адсорбционного взаимодействия [7].

К числу наиболее распространенных низкоразмерных модификаторов полимерных матриц относятся порошки металлов и оксидов [4, 5], керамики [7], слоистых минералов [6, 7], углеродсодержащие продукты детонационного синтеза УДА, УДАГ [2]. Установлены общие закономерности модифицирующего действия наночастиц различного состава и технологии получения, основанные на изменении кинетики адсорбционного взаимодействия полимерных макромолекул с активными центрами поверхностного слоя и формировании упорядоченной структуры граничного слоя под действием электрических полей наполнителя [6].

Анализ исследований в области создания функциональных полимерных нанокомпозитов свидетельствует об отсутствии единой точки зрения на влияние размеров и формы наночастиц на эффективность их модифицирующего действия.

Цель исследований состояла в теоретической оценке влияния размерного фактора наночастиц на их модифицирующее действие в модельных системах.

Результаты и обсуждение. Одномерным нанокомпонентом являются частицы, у которых толщина (ℓ) соответствует критерию наноразмерности, то есть $h < L$, где $L = 230 \cdot (\theta)^{-1/2}$, θ – Дебаевская температура [8]. Размеры частицы для направлений, перпендикулярных ℓ , (S), могут иметь значения: $S \gg L$. Модифицирующее действие чешуйчатых наночастиц описано, например, в работах [9–11].

Основными характеристиками наномодифицирующих чешуйчатых частиц являются:

h – средняя толщина одномерной наночастицы;

S – средняя площадь наночастицы;

H – толщина модифицированного слоя матрицы композита приповерхностного по отношению к частице вещества (рис. 1);

C_v – объемная концентрация модификатора.

Как следует из рисунка 1, объем композита, модифицированный одной частицей, равен:

$$V_{m1} = 2H \cdot S. \quad (1)$$

Отсюда степень модифицирования частиц (M), равная отношению суммарного модифицированного объема к общему объему композита, равна

$$M = V_{m1} \cdot n, \quad (2)$$

где n – концентрация частиц модификатора.

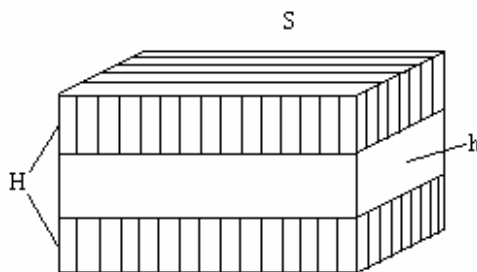


Рис. 1. К механизму модифицирования одномерным нанокристалом: h – толщина наночастицы, H – толщина модифицированного слоя, S – площадь пластинки

Так как:

$$\frac{\sum_{i=1}^n V_i}{h \cdot S} = \frac{C_v}{hS}, \quad (3)$$

то максимальная возможная степень модифицирования связующего в нанокompозите при чешуйчатой форме частиц наполнителя-модификатора равна:

$$M = 2 \frac{H}{h} C_v = 2\alpha C_v, \quad (4)$$

где $\alpha = \frac{H}{h}$.

Из условия (4) следует, что при $C_v = 0$ $M = 0$, при $C_v = 1$, $H = 0$, т.е. $M = 0$. Следовательно, величина H определяется не только свойствами наночастицы модификатора, но и величиной C_v . Однако, при малых значениях C_v основную роль будут играть поверхностные свойства частицы. Из выражения (4) следует, что максимальное значение величины α при малых значениях C_v и $M = 1$ равно:

$$\alpha = \frac{1}{2C_v}. \quad (5)$$

Отсюда следует, что для достижения максимального модифицирующего эффекта при использовании одномерных наночастиц и фиксированном C_v необходимо стремиться к уменьшению их толщины. Для слоистых силикатов, в частности, для слюд, h при различных методах измельчения имеет значение $h = 20 \overset{o}{\text{Å}} = 2 \text{ нм}$ (два слюдных слоя) [12]. Так как значение H для слюд может иметь значения 100 нм, то

$$C_v = \frac{h}{2 \cdot H} = \frac{2}{200} = 1\%.$$

Учитывая, что модифицирование полимерного композита не требует изменения всей матрицы, а в ряде случаев достаточно достичь значения $M = 0,2 \div 0,3$ [13], то объемная концентрация нанонаполнителя в этом случае равна 0,2 ÷ 0,4 об. %.

Наряду с чешуйчатым габитусом частиц наномодификатора в качестве наполнителя полимера можно использовать так называемые «вискеры», то есть двухмерные наночастицы, у которых сечение – круг, со средним радиусом (r), а их средняя длина $l \gg r$. Пусть толщина модифицированного вискерной частицей слоя равна H (рис. 2), тогда модифицированный одной частицей объем (V_{m1}) равен:

$$V_{m1} = \pi[(H + r)^2 - r^2] \cdot l, \quad (6)$$

то есть степень модифицирования (M) равна:

$$M = \frac{[(H + r)^2 - r^2]}{r^2} C_v = \frac{H}{r} \left(\frac{H}{r} + 2 \right) C_v = \beta \cdot (\beta + 2) \cdot C_v, \quad (7)$$

где $\beta = \frac{H}{r}$

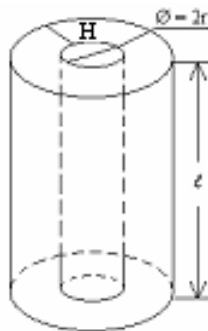


Рис. 2. К механизму модифицирующего действия висцерной частицы
При $C_v = 0$, $M = 0$. Если $C_v = 1$, то $H = 0$ и $M = 0$.

Если наночастица модификатора имеет сферическую форму и ее средний радиус равен r , а средняя толщина модифицированного слоя связующего равна H , то (рис. 3).

$$V_{m1} = \frac{4}{3} \pi [(H + r)^3 - r^3]. \quad (8)$$

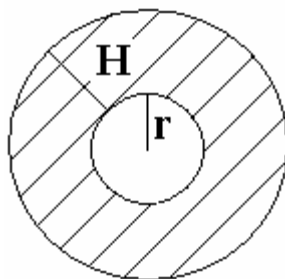


Рис. 3. К механизму модифицирующего влияния сферической частицы: r – радиус частицы, H – толщина модифицированного приповерхностного слоя

В этом случае степень модифицирования:

$$M = \frac{C_v [(H + r)^3 - r^3]}{r^3} = C_v [(\gamma + 1)^3 - 1] = \gamma(\gamma^2 + 3\gamma + 3) \cdot C_v, \quad (9)$$

где $\beta = \frac{H}{r}$.

Таким образом, степень модифицирования (M) для наночастиц наполнителя различного габитуса рассчитывается по следующим формулам:

- для чешуйчатой частицы:

$$M = 2\alpha C_v,$$

где $\alpha = \frac{H}{h}$ (рис. 1).

- для цилиндрической частицы (вискеры):

$$M = \beta(\beta - 2)C_V,$$

где $\beta = \frac{H}{r}$ (рис. 2).

- для сферических частиц:

$$M = \gamma(\gamma^2 + 3\gamma + 3) \cdot C_V,$$

где $\gamma = \frac{H}{r}$ (рис. 3).

Рассмотрим случай наполнения полимерной матрицы, когда значение C_V для частиц различных габитусов одинаково, а $\frac{H}{h} = \frac{H}{r} = 10$. Тогда:

$$M_{\text{ч}} : M_{\text{в}} : M_{\text{с}} = (2 \cdot 10) : (10 \cdot 8) : (10 \cdot 133) = 1 : 4 : 133 \quad (10)$$

Казалось бы, что согласно этим расчетам при выборе модификатора необходимо отдавать предпочтение сферическим частицам. Однако, в соотношениях (10) не учтены изменения полей электрически заряженных частиц с различной формой. Если частица не обладает нескомпенсированным зарядом, то ее модифицирующее действие снижается. Следовательно, электрический заряд – важнейший компонент модифицирования полимерных матриц.

Если объемная плотность заряда равна ρ , а линейный размер пластины-чешуйки (S) существенно превышает ее толщину, то для слоистых частиц, например, геосиликатов обычно имеет место соотношение. При соотношении $\frac{H}{h} = 10$ напряженность поля в периферии чешуйчатой наночастицы является постоянной величиной, равной:

$$E_{\text{ч}} = \frac{\rho \cdot h}{2E_0E}. \quad (11)$$

Для вискерной частицы на расстоянии R от оси значение E определяется из выражения:

$$E = \frac{r^2 \cdot \rho}{2E_0E \cdot R}. \quad (12)$$

Для сферической частицы, когда R – расстояние точки поля до центра частицы, получим:

$$E = \frac{\rho \cdot r^3}{3E_0E \cdot R^2}. \quad (13)$$

Из сравнения напряженностей поля от заряженных наночастиц с одинаковыми значениями ρ и $h = 5\text{нм}$, $R = H = 50\text{нм}$ в формулах (11–13) получим:

$$E_{\text{ч}} : E_{\text{в}} : E_{\text{с}} = 1 : 1/10 : 1/150. \quad (14)$$

Напряженность поля связана с величиной дисперсии углов молекулярных диполей к нормали в точку поверхности частицы, контактирующей с молекулой приповерхностного слоя связующего при прочих равных условиях. Чем выше величина E , тем больше толщина модифицированного слоя. Следовательно, совместный учет полученных отношений (10) и (14) показывает, что модифицирующее действие наночастиц чешуйчатых (ч), висцерных (в) и сферических (с) при прочих равных условиях определяется отношением

$$M_{\text{ч}} : M_{\text{в}} : M_{\text{с}} = 1 : 0,4 : 0,8. \quad (15)$$

Таким образом, при малых концентрациях наномодификатора наиболее перспективным оказывается использование чешуйчатых частиц, к которым относится большая группа слоистых силикатов, широко распространенных в природе. Это обусловило широкое применение слоистых геомодификаторов (глин, слюд) при создании функциональных материалов на основе полимерных матриц [3, 6].

Выводы. При разработке функциональных композиционных материалов на основе полимерных матриц необходимо учитывать особенности строения низкоразмерных частиц модификатора в совокупности с их зарядовым состоянием.

Список литературы: 1. Витязь П.А. Перспективные нанофазные материалы на основе ультрадисперсных алмазов //Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. науч.тр. – Новополоцк. – 2001. – С. 4–8. 2. Новые ресурсосберегающие технологии и композиционные материалы /Ф.Г. Ловшенко, Ф.И. Пантелеенко, А.В. Рогачев и др. – М.: Энергоатомиздат. – Гомель: БелГУТ. – 2004. –519 с. 3. Чвалун С.Н. Полимерные нанокомпозиты //Природа. – 2001. – № 1. – С. 1–12. 4. Натансон Э.М., Ульберг З.Р. Коллоидные металлы и металлополимеры. – Киев: Наукова думка. – 1971. – 336 с. 5. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Б. Наночастицы металлов в полимерах. – М.: Химия. – 2000. – 672 с. 6. Доклад Европейской экономической комиссии по новым материалам. – Женева. – 1999. – 50 с. 7. Физические аспекты модифицирующего действия природных силикатов в полимерных нанокомпозитах /С.В. Авдейчик, В.А. Лиопо, В.А. Струк и др. //Доклады НАН Беларуси. – 2004. – Т. 48. – № 3. М С. 113–116. 8. В.А. Лиопо Габитус нанокристаллов / Низкоразмерные системы-2. в.4. – 2005. – С. 175–186. 9. С.В. Авдейчик, Е.В. Овчинников, В.А. Лиопо, В.А. Струк Особенности модифицирующего действия природных силикатов в полимерных композитах /Горная механика. – 2004. – № 1–2. – С. 35–44. 10. Е.Ф.Кудина Разработка органосиликатных связующих и гибридных наполнителей для композиционных материалов машиностроительного назначения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Гомель. – 2000. – 24 с. 11. В.А. Лиопо, В.А. Струк, С.В. Авдейчик, В.В. Клецко, Е.В. Овчинников. Модельные представления о механизме модифицирования полимеров слоистыми силикатами /ДНАН Б – Т. 49. – № 6. – 2005. – С. 101–105. 12. М.С. Мецик Механические свойства слюд. – Иркутск: Изд. ИГУ. – 1984. – 286 с. 13. А.А. Скаскевич Структура и технология малонаполненных машиностроительных материалов на основе конструкционных термопластов, модифицированных углеродными нанокластерами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск. – 2000. – 18 с.

Сдано в редакцию 15.01.07