

Секция III

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

УДК 620.22:621.79.01:678.033:678.742

**Авдейчик С.В., Струк В.А., Сорокин В.Г.,
Антонов А.С., Лиопо В.А.**

(Гродненский государственный университет имени Янки Купалы)

ФЕНОМЕН НАНОСОСТОЯНИЯ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

В номенклатуре современных машиностроительных материалов особое место принадлежит наноккомпозитам на основе полимерных, олигомерных и совмещенных матриц, которые по ряду функциональных характеристик являются безальтернативными материалами при производстве автотранспортной, специальной, сельскохозяйственной техники, технологического оборудования, запорной и регулирующей арматуры для систем теплоэнергетики, нефтехимического и перерабатывающего комплексов. Анализ литературных коммерческих, патентных и других источников свидетельствует о необходимости разработки теоретического обоснования технологии машиностроительных наноккомпозиционных материалов на основе высокомолекулярных матриц для обеспечения потребностей различных отраслей хозяйственных комплексов.

Цель работы состояла в разработке физических критериев оценки наносоостояния дисперсных частиц конденсированных сред для обоснования составов и технологии машиностроительных наноккомпозиционных материалов на основе полимерных, олигомерных и совмещенных термопластичных матриц.

В соответствии с современными представлениями о кинетике межфазных взаимодействий [1–5] важнейшим параметром формирования системы различного состава, строения и назначения, определяющим условия достижения оптимальной ее структуры, является энергетическое состояние компонентов.

Наши исследования и анализ литературных источников, посвященных исследованию структуры и строения высокодисперсных частиц конденсированных сред, позволили установить основные факторы,

определяющие наносостояние компонентов материалов и металлополимерных систем (рис.) и условия его проявления.

Исходя из совокупности предпосылок проявления феномена «наносостояние», следует, что размерный критерий будет зависеть от состава, структуры исходных полуфабрикатов, технологии получения дисперсных частиц и вида межфазных взаимодействий в системе.

Из классических представлений физики конденсированного состояния и квантовой физики [1–4] следует, что существует определенное значение температуры, выше которой для описания материальной субстанции используют классические представления, ниже – квантовые. Эту температуру θ_D называют температурой Дебая.



Рисунок – Факторы наносостояния компонентов материальных систем

Наряду с параметром температуры Дебая θ_D , для описания состояния материальных объектов используют понятия дебаевской частоты (ω_D), дебаевского импульса (P_D), дебаевской волны (λ_D) и дебаевской энергии (E_D). Выражения (1) определяют энергию Дебая.

$$E_D = k\theta_D = \hbar\omega_D = \frac{P_D^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda_D^2}. \quad (1)$$

В формулах (1) $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, h , \hbar – постоянная Планка ($h = 2 \cdot \hbar$), m – масса электрона.

Процессы, протекающие в веществах, обычно разделяют на два типа: электронные и решеточные. К электронным процессам относят те, в которых фигурируют электромагнитные взаимодействия. К решеточным процессам относят диффузию, тепловые колебания атомов, распространение волн механических (например, акустических) возбуждений. В первом случае переносчиками взаимодействия являются фотоны, во втором – фононы. Возможно появление потоков и других квазичастиц (экситонов, плазмонов, вакансионных и др.). Этот аспект не является в нашем случае принципиальным, так как, в конечном счете, взаимодействие различных структурных объектов в веществах обусловлено электронами, которые могут вызывать и движение ионов (атомов). Именно этим можно объяснить то обстоятельство, что в равенствах (1) присутствуют и фононные (ω_D) и электронные (m) характеристики.

Наибольший интерес вызывает параметр дебаевской длины (λ_D). Для электронов параметр λ_D определяет размер участка в частице веществ, на который распространяется влияние отдельного электрона. При $r > \lambda_D$ справедливо одноэлектронное адиабатическое приближение, при $r < \lambda_D$ – необходимо использовать модель так называемого «электронного желе».

Дебаевская длина является важным параметром фононных процессов, так как параметр λ_D – это средняя длина свободного пробега фонона. При условии $r < \lambda_D$ частица характеризуется состоянием своеобразного «фононного вакуума» и физические процессы, происходящие в ней отличаются от процессов, протекающих в объемном образце.

Следовательно, равенство $L_0 = \lambda_D$ ограничивает размер частиц с характерными макросвойствами. Анализ механизмов протекания физических процессов говорит о том, что численные значения многих параметров характеристик меняются в зависимости от размера объекта [5].

Рассмотрим равенство (2):

$$k\theta_D = \frac{P_D^2}{2m}. \quad (2)$$

Так как параметр λ_D определяется вдоль конкретного направления (пусть вдоль x), то необходимо анализировать составляющую импульса вдоль этого направления. Для простоты примем, что $P_x = P_y = P_z$, то есть $P^2 = P_x^2$. Учитывая, что $P_x = (h / \lambda)_x$, получим условие (3):

$$k\theta_D = \frac{3P^2}{2m} = \frac{3h^2}{2m\lambda_D^2}. \quad (3)$$

Индекс x опущен, так как векторы λ_D и компонента P_x в условии (3) коллинеарны.

Из условия (3) следует условие (4):

$$\lambda_D = \frac{\sqrt{1,5h}}{\sqrt{km}} \theta_D^{-1/2} = C \theta_D^{-1/2}. \quad (4)$$

После подстановки численных значений физических констант в условие (4) получим $C = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ м} \cdot \text{К}^{1/2}$.

Следовательно, размерная граница L_0 будет определяться выражением (5):

$$L_0 = \lambda_D = 2,3 \cdot 10^{-7} \theta_D^{-1/2} \text{ м} = 230 \theta_D^{-1/2} \text{ нм}. \quad (5)$$

Эта формула полностью соответствует многим экспериментальным результатам, полученным различными авторами [2–4].

Осуществлена апробация разработанных методологических подходов по оценке роли феномена наносостояния композиционных модификаторов и металлополимерных систем [5].

Для изготовления уплотнительных, защитных и демпфирующих элементов автомобильных агрегатов (тормозных камер, автомобильных амортизаторов, карданных валов) разработаны составы нанокпозиционных материалов на основе термоэластопластов (СЭВА, ТПУ), модифицированных термопластичными компонентами (ПЭНД, СФД) в сочетании с наноразмерными частицами силикатсодержащих минералов слоистой, каркасной или цепочечной структуры, полученных термической обработкой дисперсных полуфабрикатов.

Введение в состав матрицы силикатных наноразмерных частиц обеспечивает формирование переходных слоев на границе раздела «термоэластопласт – термопласт» по механизму адсорбционного взаимодействия макромолекул матричного связующего и модифицирующего компонента с активными центрами дисперсной частицы, которая выполняет функцию физического компатибилизатора.

Исследования проводились при финансовой поддержке БРФФИ в рамках выполнения задания по договору №Т18М-139 «Реализация феномена наносостояния в механизмах нецепной стабилизации полимерных композитов» от 30.05.2018 г.

Литература

1. Веймарн, П.П. К учению о состоянии материи (основания кристаллизационной теории необратимых коллоидов) / П.П. Веймарн. – СПб: Экон. типо-лит., 1910. – 192 с.
2. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М.: Физматлит, 2007. – 416 с.
3. Ajayan P. M., Schadler L. S., Braun A. V. Nanocomposite science and technology. – NY: Willey, 2004. – 230 p.
4. Пул, Ч. Нанотехнологии: пер. с англ. / Ч. Пул, Ф. Оуэнс. – М.: Техносфера, 2005. – 334 с.
5. Введение в физику нанокомпозиционных машиностроительных материалов / С. В. Авдейчик [и др.]. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 438 с.

УДК 620.22:621.79.01:678.033:678.742

Антонов А.С.

(Гродненский государственный университет имени Янки Купалы)

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ТЕРМОПЛАСТОВ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОВЫШЕННОГО РЕСУРСА

В номенклатуре функциональных полимерных композитов определяющее место занимают смесевые материалы на основе полимерных и олигомерных компонентов. Совмещение матричного связующего с полимерным или олигомерным модификатором позволяет достичь необходимый диапазон параметров эксплуатационных характеристик, обеспечивающий заданный ресурс изделия в конкретных условиях его применения [1–4].

Существенной проблемой обеспечения стабильных параметров структурных характеристик смесевых композитов, определяющих нагрузочно-скоростной и температурный диапазон применения изделий в статических и динамических конструкциях узлов и агрегатов различного назначения, является преодоление выраженной термодинамической несовместимости полимерных и олигомерных компонентов, обусловленной особенностями состава, структуры макромолекулы, различием реологических, теплофизических и др. характеристик. Поэтому в технологии смесевых композитов используют специальное оборудование двухшнековые смесители, установки для механохимического