

**Струк В.А., Антонов А.С.**

(ГрГУ имени Янки Купалы)

**Авдейчик С.В., Гольдаде В.А.**

(ГГУ имени Франциска Скорины)

**Прокопчук Н.Р.**

(Белорусский государственный технологический университет)

## **МЕТОДОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ**

Нанокomпозиционные материалы на основе полимерных матриц представляют эффективное направление реализации NBIC-технологий в практической деятельности производственных систем [1–5]. При разработке методологии создания полимерных нанокomпозитов используют феномен наносостояния, который представляет особую форму существования частиц или элементов конденсированных сред, характеризующуюся их активностью в процессах межфазного взаимодействия, обусловленную наличием собственных или приобретенных нескомпенсированных и делокализованных носителей заряда различной природы с изменяемой подвижностью и локализацией под действием внешних факторов (температурных, механических, волновых, фрикционных, электромагнитных, радиационных и др.), которая проявляется в некотором размерном диапазоне, индивидуальным для каждого типа вещества [3].

Предложенное содержание дефиниции наносостояния позволяет определить концептуальные направления создания функциональных композитов на основе полимерных матриц для металлополимерных систем различного вида и назначения.

Промышленные полимерные матрицы обладают различным уровнем структурного несовершенства на различных уровнях – надмолекулярном, межмолекулярном, межфазном, что позволяет при определенных видах воздействия формировать структуры, проявляющие наносостояние, которое оказывает существенное влияние на формирование композита с повышенными параметрами служебных характеристик.

Предложены методологические принципы реализации феномена наносостояния в материаловедении и технологии композитов на основе полимерных матриц и металлополимерных систем (рисунок 1).

Для практической реализации методологических принципов создания нанокomпозиционных материалов для конструкционных элементов металлополимерных систем с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик использовали наноразмерные модификаторы различного состава, строения, технологии получения и введения в состав

композита или изделия из него. Учитывая ограниченный марочный ассортимент наноразмерных частиц, производимых в Беларуси главным образом лабораторными методами и относящихся преимущественно к углеродсодержащим продуктам взрывного (УДА, УДАГ) и плазмохимического (фуллерены, углеродные нанотрубки) синтеза, предложены технологии получения наноразмерных объектов из металлосодержащих и кремнийсодержащих соединений [2–5].



**Рисунок 1 – Методологические принципы реализации феномена наносостояния в материаловедении и технологии функциональных композитов на основе промышленных матриц и металлополимерных систем**

Для получения наноразмерных металлосодержащих частиц использовали прекурсоры – соли органических кислот, которые в определенном температурном диапазоне разлагаются с образованием наноразмерных продуктов. Разложение прекурсоров в полимерной матрице, находящейся в твердом или вязко-текучем агрегатном состоянии, обеспечивает защиту от окисления и интенсивное адсорбционное взаимодействие *in statu nascendi* частиц с активными центрами полимерных макромолекул с образованием металлополимерной наноструктуры.

Силикатсодержащие наночастицы из слоистых минералов типа глин, трепела, слюд предложено получать термическим ударом

механоактивированных частиц с градиентом температур 800–1000 °С, или частиц, модифицированных терморазлагающимися соединениями (карбонатами, формиатами, оксалатами металлов), или органическими продуктами, являющимися компонентами растительных масел.

Используя наноразмерные модификаторы различного строения и технологии получения – продукты взрывного синтеза (УДА, УДАГ), продукты газотермического синтеза политетрафторэтилена (УПТФЭ), коллоидный графит (КГП С-1), фторсодержащие олигомеры (Фолеокс, Эпилам), модифицированные силикаты (глины, шунгит, трепел), разработали практические методы реализации принципа многоуровневого модифицирования.

Формирование интегрированной надмолекулярной структуры нанокompозита путем введения в состав матричного связующего совокупности наночастиц одинакового или различного элементного состава и габитуса возможно путем использования продуктов взрывного синтеза УДАГ, представляющих собой смеси алмазоподобной, графитоподобной и сажеподобной модификаций углерода с различной формой, частиц слоистых силикатов и металлов (оксидов).

Сущность методологического принципа физической компатибилизации компонентов смесей состоит в установленном эффекте образования физических связей между активными центрами полимерных макромолекул и наноразмерными частицами. Благодаря этому возможно формирование надмолекулярных структур с участием различных макромолекул, что способствует повышению термодинамической совместимости полимерных смесей в вязко-текучем состоянии и образованию граничных слоев с более совершенной структурой. На основе данного методологического подхода разработан ряд составов функциональных нанокompозитов на основе полимерных компонентов с различной термодинамической совместимостью – полиамидов, полиэфиров, полиолефинов и т.д.

Принцип нецепной стабилизации полимерных моно- и смесевых матриц путем дезактивирования потенциальных центров деградации макромолекул в поверхностном слое или объеме изделия разработан на основе способности наноразмерных частиц к образованию физических связей, которые изменяют кинетику адсорбции кислорода и процессов окисления и деструкции. Технологические приемы введения наноразмерных частиц в структуру композиционных материалов или поверхностные слои изделий из них определяются условиями эксплуатации металлополимерной системы и параметрами ее эффективности и надежности.

Эффективным приемом является диффузионное модифицирование поверхностного слоя изделия с последующей термической фиксацией.

Развитие этих исследований показало, что в качестве стабилизаторов полимерных матриц могут быть использованы не только металлсодержащие, но и другие наночастицы, которые в наносостоянии вступают во взаимодействие с центрами макромолекул с образованием надмолекулярных структур различного типа.

Для повышения комплекса параметров эксплуатационных характеристик изделий, эксплуатируемых в экстремальных условиях (при воздействии повышенных температур, химических сред, отсутствии смазки и т.п.), эффективен методологический принцип активирования благоприятного превалирующего механизма межфазного взаимодействия путем формирования активного нанорельефа. Этот принцип в наибольшей мере интенсифицирует межфазное взаимодействие в композиционных материалах на основе высоковязких матриц (ПТФЭ, СВМПЭ) при их наполнении армирующими компонентами – фрагментами углеродных, стеклянных, оксалоновых, арамидных и др. волокон. Разработаны специальные технологические приемы формирования активного нанорельефа на поверхности таких фрагментов путем энергетической обработки, нанесения наноразмерных аппретов, металлизации поверхностного слоя.

Принцип ингибирования коррозионно-механического изнашивания и контактного разрушения металлополимерных систем путем введения в зону фрикционного контакта фторсодержащих соединений реализован при создании триботехнических композитов на основе термопластичных матриц (полиамидов, ПТФЭ) нанокomпозиционных покрытий, смазочных составов для тяжелонагруженных узлов трения.

Практическое апробирование методологических принципов реализации феномена наносостояния в материаловедении и технологии композитов и металлополимерных систем в виде функциональных материалов на основе полимерных матриц, покрытий и смазочных составов, осуществленное в металлополимерных системах различного назначения и конструктивного исполнения (автомобильных амортизаторах, тормозных камерах, карданных валах, регулирующей и запорной арматуре, технологической оснастке металлообрабатывающего оборудования), подтвердило адекватность и актуальность разработанных подходов для современного машиностроения. Для некоторых видов металлополимерных систем эффективным является сочетание нескольких методологических подходов, что позволяет в наиболее полной мере учесть многофакторное действие физико-химических, теплофизических, триботехнических и других процессов на требуемый эксплуатационный ресурс.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. // Экономический бюллетень научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. – 2015. – №4(214). – С. 2–99.
2. Введение в физику нанокomпозиционных машиностроительных материалов / С. В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В. А. Лиопо, В. А. Струка. – Гродно : ГГАУ, 2009. – 439 с.
3. Авдейчик, С. В. Фактор наносостояния в материаловедении полимерных нанокomпозитов / С. В. Авдейчик, В. А. Струк, А. С. Антонов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. – 468 с.
4. Машиностроительные фторкомпозицы: структура, технология, применение / С. В. Авдейчик [и др.]; под ред. В. А. Струка. – Гродно : ГрГУ, 2012. – 339 с.
5. Материаловедение и технология полимеров и композитов : учеб. пособие / В. А. Гольдаде [и др.]; под ред. В. А. Струка. – Гродно : ГрГУ, 2018. – 351 с.

УДК 678.046.3

**Хасанова А.Д., Вольфсон С.И., Казаков Ю.М.,  
Хусаинов А.Д., Куликов А.А.**

(Казанский национальный исследовательский  
технологический университет)

**Усс Е.П.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРОВ НА СВОЙСТВА ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ВУЛКАНИЗАТА НА ИХ ОСНОВЕ**

Термоэластопласты (ТЭП) обладают многими свойствами эластомеров, но перерабатываются как обычные термопластичные материалы. С точки зрения производства готовых изделий такие материалы обладают некоторыми экономическими, проекционными и технологическими преимуществами. Существует два типа смесей полиолефинов, которые по своей природе являются термоэластопластами: смесевые термоэластопласты и динамически вулканизированные термоэластопласты. В смесевых термоэластопластах непрерывной является как эластомерная, так и кристаллическая полиолефиновая фаза, при этом проявляющиеся