

адгезионных и триботехнических характеристик на основе промышленных термопластов для функциональных металлополимерных систем и эффективных технологий их изготовления и переработки в изделия защищены 67 патентами Республики Беларусь и Российской Федерации [1, 2].

Исследования выполнены в рамках задания Т19УЗБ-003 от 21.06.2019 г.

### Литература

1. Авдейчик, С. В. Фактор наносостояния в материаловедении полимерных нанокомпозитов / С. В. Авдейчик, В. А. Струк, А. С. Антонов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. – 468 с.

2. Нанокомпозиционные и наноструктурные машиностроительные материалы и технологии их получения / С. В. Авдейчик [и др.]; под ред. А. В. Киричека. – М. : Спектр, 2013. – 224 с. – Раздел 2. Машиностроительные нанокомпозиты на основе полимерных матриц / С. В. Авдейчик, Е. В. Овчинников, В. А. Струк. – С. 41–111; Раздел 3. Фторсодержащие триботехнические композиты: особенности структуры, технологии и применения / С. В. Авдейчик [и др.]. – С. 112–141.

УДК 678.5

**Авдейчик С.В.**

(ООО «Молдер»)

**Струк В.А., Антонов А.С.**

(Гродненский государственный университет имени Янки Купалы)

**Гольдаде В.А.**

(Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины)

### **МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ**

Анализ параметров энергетических характеристик дисперсных частиц различного состава и строения указывает на нелинейность зависимости величины термостимулированного тока (ТСТ) от температуры, наличие экстремумов в температурных диапазонах, характерных для каждого вида модификатора, и нестабильности  $I = f(T)$  при изменении размерных параметров, режимов диспергирования,

интенсивности воздействия температурных, механических и других энергетических и технологических факторов.

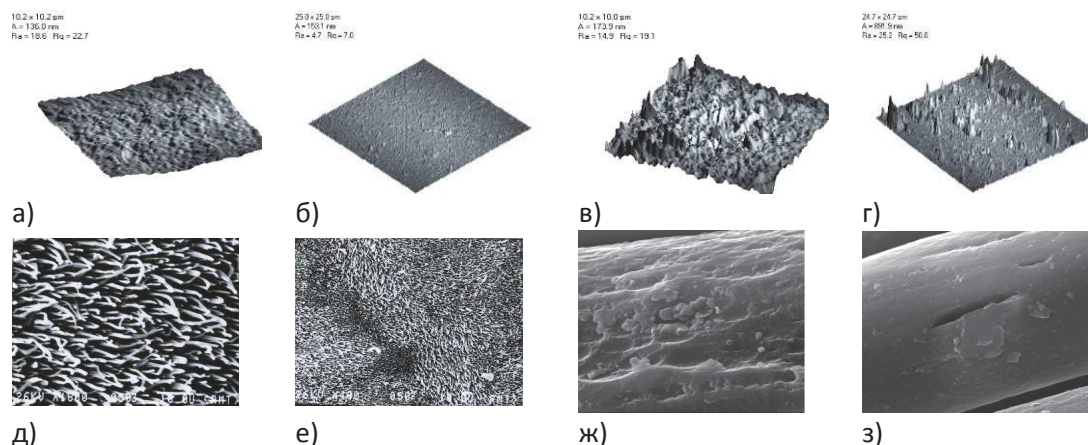
Характерной особенностью дисперсных частиц распространённых модификаторов полимерных матриц (слюд, кремней, шунгитов, глин и др.) является наличие нескомпенсированного заряда с большим временем релаксации, что подтверждается данными ЭПР-спектроскопии. Наряду с исходными электрофизическими параметрами, обусловленными особенностями состава и строения, как следует из представлений о феномене наносостояния, развитых П. фон Веймарном, Р. М. Аjan, И. П. Суздаевым, А. И. Гусевым и др., при определённых видах технологического воздействия возможно достижение размерного диапазона их существенного изменения. Размерный диапазон перехода материальных объектов в наносостояние индивидуален для частиц различного состава и строения и определяется по аналитическому выражению, предложенному В. А. Лиопо, согласно которому предельный размер  $L_0 = 230 \cdot \theta_D^{-1/2}$ , где  $\theta_D$  – температура Дебая.

Анализ морфологических особенностей дисперсных частиц, широко применяемых в материаловедении полимерных композитов, методом РЭМ и АСМ, указывает на наличие у объектов микронного диапазона наноразмерных компонентов, формирующих морфологию поверхностного слоя. Наличие таких наноконпонентов является важнейшим фактором, определяющим активность модификаторов в процессах формирования полимерных композитов на различных структурных уровнях – межмолекулярном, надмолекулярном, межфазном вследствие образования наноразмерных компонентов, достаточных для реализации определяющего процесса с необходимой интенсивностью, путём установления механизмов их формирования при различных видах воздействия.

Среди широкого марочного ассортимента модификаторов полимерных матриц особое положение занимают продукты переработки природных полуфабрикатов – цеолитов, трепела, шунгита, глин, слюд, кремней, с характерной структурой и составом, позволяющим реализовать фактор энергетического состояния в формировании структуры композита. С использованием представлений физики конденсированного состояния на базе барьерной модели образования ювенильной поверхности предложены механизмы диспергирования слоистых минералов типа слюд, талька, каолинита с образованием наноразмерных компонентов пластинчатого габитуса. Установлено, что определяющими процессами деградации частиц микрометрового диапазона являются дегидратация и дегидроксиляция, вызывающие разрушение

исходной слоистой структуры и образование наноразмерных элементов пластинчатой формы в активном состоянии с большим временем его релаксации, достаточным для реализации в технологии полимерных нанокомпозитов. Для интенсифицирования процессов диспергирования слоистых минералов целесообразно использовать термоудар с градиентом  $0,8 \div 1,0 \cdot 10^3$  К или диффузионное насыщение межслоевых областей низкомолекулярными средами с низкой стойкостью к термической деградации. Модельные исследования диспергирования слоистых минералов типа слюд (мусковит) показали возможность образования наночастиц с размером  $30 \div 50$  нм при ударном термическом воздействии на исходный полуфабрикат при 1073 К в течение 5–20 мин. Образующиеся пластинчатые частицы обладают повышенной адсорбционной активностью в процессах взаимодействия с окружающей средой, в том числе полимерными матрицами в вязко-текучем состоянии. Процесс диспергирования слоистых силикатов может быть реализован непосредственно в процессе получения или переработки композиционных материалов при термомеханическом воздействии на компоненты шнеков смесителей, экструдеров или термопластавтоматов. Образование интеркалированной или эксфолиированной структуры нанокомпозита обеспечивает технически значимый эффект повышения параметров деформационно-прочностных и триботехнических характеристик даже при допинговом содержании ( $0,1 \div 1,0$  мас. %) модификатора. Термическое воздействие на дисперсные частицы изменяет энергетические параметры не только слоистых силикатов (глин, талька), но и каркасных и цепочных (кремни, цеолиты) и многофазных природных продуктов (трепел, шунгит). Эффективной технологией активирования дисперсных частиц является их диспергирование при механическом или механохимическом воздействии, что приводит не только к увеличению удельной поверхности, но и образованию наноразмерных компонентов морфологии поверхностного слоя. Активированные подобным образом модификаторы сохраняют активность в течение технологически значимого времени.

Наноразмерные компоненты морфологии поверхностного слоя могут быть образованы и в результате воздействия на полуфабрикат энергетических потоков – ионизирующего, лазерного излучений. При этом, не только увеличиваются параметры удельной поверхности, обеспечивающей механическую составляющую межфазного взаимодействия, но и энергетических характеристик, которые влияют на надмолекулярную структуру и адсорбционную способность поверхностных слоёв модифицированных субстратов (ПЭТФ, ПТФЭ, ПП, ПЭНД, УВ) (рисунок).



**Рисунок – Характерная морфология поверхностного слоя субстрата ПТФЭ (д, е), ПЭТФ (б, г), ПЭНД (а, в), углеродного волокна (ж, з), исходных (а, б) и подвергнутых воздействию ионами азота при дозе  $10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> (ж, з), импульсного лазерного излучения с плотностью мощности  $2,0$  Вт/см<sup>2</sup> (в, г). Данные АСМ (а–г) и РЭМ (д–з)**

Осуществлена энергетическая оценка наносостояния поликристаллических частиц для установления температурного эквивалента геометрических параметров. Показано, что для наночастицы вследствие повышения роли поверхностной энергии по сравнению с массивным образцом существует связь изменения размеров и энергии, которую можно оценить по температурной шкале. При уменьшении размера частицы на 1 % происходит увеличение параметров энергетических характеристик на величину  $\delta t = k(\delta T) \approx 3,5 \cdot 10^{-28}$  Дж. Поэтому образование частиц наноразмерного диапазона или наноразмерных компонентов морфологии поверхностного слоя макрочастиц сопровождается увеличением параметров энергетических характеристик и эффективности межфазных процессов в системах.

Разработанные методологические подходы к выбору модификаторов позволил разработать гамму нанокomпозиционных материалов на основе промышленных термопластов и технологию их изготовления и переработки в изделия различного функционального назначения [1–5].

Исследования выполнены в рамках задания Т20ПТИ-005 от 04.05.2020 г.

### Литература

1. Фторсодержащие ингибиторы изнашивания металлополимерных трибосистем / С. В. Авдейчик [и др.]; под ред. В. А. Струка. – Минск : Тэхналогія, 2011. – 270 с.
2. Трибохимические технологии функциональных композиционных материалов: Ч. 1. Модельные представления / С. В. Авдейчик; под ред. В. А. Струка, Ф. Г. Ловшенко. – Гродно : ГГАУ, 2008. – 328 с.

3. Трибохимические технологии функциональных композиционных материалов: Ч. 2. Технология и опыт применения / С. В. Авдейчик ; под ред. В. А. Струка, Ф. Г. Ловшенко. – Гродно : ГГАУ, 2008. – 399 с.

4. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение / С. В. Авдейчик [и др.]; под ред. проф. В. А. Струка. – Минск : Тэхналогія, 2007. – 431 с.

5. Металлополимерные нанокомпозиты: особенности структуры, технология, применение / А. А. Рискулов, С. В. Авдейчик, М. В. Ищенко, Е. В. Овчинников ; под науч. ред. В. А. Струка, В. А. Лиопо. – Гродно : ГГАУ, 2010. – 335 с.

УДК 678.06

**Прокопчук Н.Р., Глоба А.И., Лаптик И.О.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **МОДИФИКАЦИЯ НАНОАЛМАЗНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ ГРУНТОВКИ И ЭМАЛИ**

Развитие новых техники и технологий требует создания антикоррозионных покрытий с повышенной устойчивостью в температурно-силовых полях и агрессивных средах. Эту проблему экономически нецелесообразно решать только синтезом новых пленкообразующих веществ. Широкие перспективы открывают методы модификации, в том числе и наноразмерными частицами, промышленно выпускаемых грунтовок и эмалей [1].

Использование наноразмерных частиц в защитных лакокрасочных материалах (ЛКМ) весьма актуально, так как правильный выбор наномодификатора, его количества и способа введения может значительно улучшить эксплуатационные свойства лакокрасочных покрытий практически без изменения технологий производства ЛКМ, получения покрытий и с минимальным увеличением стоимости [2].

Наночастицы в ЛКМ находятся в связанной, суспензионной форме и поэтому технологии получения защитных покрытий безопасны [3]. Покрытия на основе наноразмерных композиций интенсивно изучаются в мире.

Физической основой наномодифицирования являются потенциальные возможности субатомных частиц с высокой поверхностной энергией образовывать ионные и координационные связи, ограничивающие подвижность звеньев и сегментов макромолекул, проявлять когезионные и адгезионные взаимодействия и др.