

вулканизаторов на основе бутадиен-стирольных каучуков от содержания АЕЖК. Показана принципиальная возможность замены стеариновой кислоты на АЭЖК при определенной корректировке ускорительной группы.

Дефицитность оксида цинка и определенное негативное влияние его на окружающую среду предопределяет проведение работ по снижению содержания цинковых белил в составе эластомерных материалов без ухудшения как технологических, так и механических их характеристик.

Поэтому изучены композиционные активаторы на основе цинковых белил и аминокпроизводных эфиров жирных кислот.

Добавки получали путем перемешивания компонентов при различных температурах с целью установления оптимальных температурно-временных параметров процесса. По сравнению со стандартной системой активаторов (белила цинковые + стеариновая кислота) содержание оксида цинка снижается до 2,5 раз.

Проведена оценка кинетических параметров процесса вулканизации модельных резиновых смесей на основе различных ненасыщенных каучуков (натуральный, бутадиен-стирольный, бутадиен-нитрильный). Рассчитаны энергии активации индукционного и главного периода вулканизации и установлена связь этих параметров с типом и количеством активаторов. Проведен анализ комплекса механических характеристик вулканизаторов.

Результаты показывают принципиальную возможность применения данных видов композиционных активаторов в составе эластомерных материалов. При использовании исследуемых добавок происходит улучшение прочностных свойств резин, их стойкости к тепловому старению и динамическим нагрузкам.

Таким образом, показана перспективность продолжения работ в направлении усовершенствования таких типов активирующих систем.

УДК 621.793

**Воронцов А.С.**

(Гродненский государственный университет имени Янки Купалы)

### **МНОГОФАКТОРНОСТЬ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

В конструкциях автокомпонентов широко применяют функциональные покрытия на основе высокомолекулярных матриц, которые обеспечивают заданную величину коррозионно-механической стойкости, как

отдельных узлов, так и механизмов в целом. Покрытия на основе полимер-олигомерных смесей, формируемые по «растворным» технологиям исследованы, главным образом, в прикладном аспекте с целью оптимизации технологических режимов формирования, обеспечивающих заданный эксплуатационный ресурс [1].

Проведенный анализ современных технологий нанокпозиционных материалов на основе олигомерных и полимерных матриц свидетельствует об отсутствии изученных методологических подходов, основанных на физических представлениях о механизмах исследованных процессов. Особый интерес представляют модели, описывающие энергетическое состояние наноразмерных частиц различного состава, строения и технологии получения в зависимости от кристаллохимической структуры продуктов диспергирования.

Цель настоящей работы состояла в анализе физических принципов технологии нанокпозиционных материалов для функциональных покрытий, применяемых в автотракторном машиностроении.

**Методика исследований.** В качестве матриц при получении композиционных материалов для формирования покрытий методом пневмораспыления суспензий использовали промышленно выпускаемые эмали на основе олигомеров эпоксидных и перхлорвиниловой смолы марок ЭП-1236 (ОАО «Лакокраска»). Частицы модификаторов различной дисперсности, состава и структуры вводили в матрицу с помощью диссольвера марки R 41-25/4 (FDA) № 9621091/03, представляющего собой импеллерную мельницу (фирма Netzsch).

Покрытия на металлических субстратах различной природы формировали методом псевдооживленного слоя с последующим оплавлением, окутанием или распылением суспензий пигментов, наполнителей и модификаторов в растворах связующих. При проведении технологических испытаний разработанных составов для автокомпонентов использовали лабораторные (ОАО «Лакокраска») и промышленные (ОАО «Белкард») установки, позволяющие регулировать параметры электростатического распыления суспензий.

Для модифицирования базовых полимерных и полимер-олигомерных матриц использовали дисперсные частицы, полученные из минеральных и синтетических полуфабрикатов: глин, слюд, трепела, кремня, мрамора, ультрадисперсных продуктов взрывного синтеза углерода с отрицательным кислородным балансом (УДАГ), ультрадисперсных продуктов термогазодинамического синтеза политетрафторэтилена (УПТФЭ) в состоянии промышленной поставки или после диспергирования на установке серии «Млын» (УО «Белорусско-российский университет», г. Могилев).

**Результаты и обсуждение.** Анализ литературных источников, посвященных использованию металлополимерной системы «композиционное покрытие – металлический субстрат» свидетельствует об определяющем влиянии электрофизических параметров компонентов системы и композиционного материала на механизмы формирования структуры граничного слоя и характеристики эксплуатационных свойств покрытий [2-4]. Проведено обоснование механизма формирования в поверхностном слое металлических подложек участков с разноименным зарядом, которые определяют кинетику коррозионных процессов на границе раздела [4]. Для повышения защитных характеристик нанокomпозиционных покрытий предложено нанесение специальных подслоев, выравнивающих энергетическое состояние подложки при сохранении высоких значений механической составляющей адгезионной прочности.

Качество формируемого на металлическом субстрате покрытия определяется не только технологией подготовки, но и электрофизическими характеристиками процесса формирования покрытия из воздушно-капельного потока, полученного пневмораспылением суспензии в электростатическом поле. Проведена оценка роли параметров внешнего электрического поля и электрофизических параметров компонентов, которые зависят от состава, строения и размеров в процессах образования гомогенного факела, обеспечивающего оптимальную структуру покрытия.

Для описания структуры капельной фазы, образующейся при пневмораспылении модельной системы, представляющей собой суспензию наночастиц в растворе олигомерного связующего, использовали кластерный подход, применяемый для анализа электрической конвекции слабопроводящих жидкостей. Молекулы раствора олигомера, попадая в электрическое поле наночастицы, могут поляризоваться и вступать во взаимодействие с нескомпенсированным зарядом, образуя структуру «наночастица – слой диполей». Внешняя оболочка этой структуры формирует новый слой диполей вплоть до образования некоторого равновесного формирования, названного «зарядовым кластером».

Проведенные исследования показали, что кинетика формирования нанокomпозиционного функционального покрытия на металлических субстратах определяется совокупным действием энергетических параметров подложки, капельной фазы распыляемой суспензии и наночастицы модификатора, которые оказывают влияние на процессы диспергирования жидкофазной системы, устойчивость воздушной дисперсии, взаимодействие с поверхностным слоем, растекание и коалесценцию.

Очевидно, что функциональное действие энергетических параметров всех компонентов металлополимерной системы на свойства формируемого покрытия проявляется на различных стадиях технологического процесса, поэтому регулирование диапазона значений энергетических параметров компонентов металлополимерной системы (металлического субстрата, наноразмерного модификатора, капельной фазы) возможно на различных стадиях формирования покрытия. Обоснован выбор в качестве эффективных методов регулирования энергетических параметров подложки микрофосфатирования и электролитического осаждения. Энергетические параметры дисперсных частиц модификаторов полимерных матриц целесообразно регулировать температурной обработкой и механическим воздействием на полуфабрикат, обеспечивая при этом диспергирование частиц и повышение их активности вследствие протекания процессов дегидратации и дегидроксилации (глины, трепел, кремь) и разрушение по плоскости спайности (слюды).

Проведенные исследования роли электрофизических факторов на механизмы формирования покрытий на основе олигомерных и смешанных матриц свидетельствуют о необходимости их анализа при выборе состава модификатора, способов его получения, активирования и введения в композицию, учитывающих особенности молекулярного строения связующего и механизмов его структурирования, технологических режимов подготовки поверхности субстрата и формирования покрытий с оптимальными параметрами эксплуатационных характеристик. Многофакторность влияния энергетических параметров, воздействующих на композиционный материал при наложении внешних полей в сочетании с особым собственным зарядовым состоянием частиц модификатора изменяет физико-химические процессы, протекающие на границе раздела «покрытие – субстрат» и «модификатор – связующее». Поэтому в каждом конкретном случае необходима корректировка состава и технологии изготовления композитов и покрытий на их основе. Особое значение имеет этот аспект при использовании в качестве основы композиционных материалов промышленно выпускаемых эмалей на основе олигомеров и полимер-олигомерных смесей, содержащих комплекс функциональных модификаторов различного состава и механизма действия.

**Выводы.** Проведен комплексный анализ электрофизических параметров компонентов металлополимерной системы «композиционное покрытие – металлический субстрат». Разработана модель формирования зарядового состояния капельной фазы, образованной пневмораспылением суспензии наноконпозиционного материала в электростатическом

поле. Обоснована применимость теории зарядовых кластеров в неполярных средах для описания механизма формирования суспензии композиционного материала на основе олигомерных, полимерных или смесевых матриц, модифицированных наночастицами с нескомпенсированным зарядом.

Разработанные составы обеспечивают эффективную защиту автомобильных агрегатов повышенного эксплуатационного ресурса (карданных валов автотракторной и сельскохозяйственной техники, тормозных камер грузовых автомобилей, амортизаторов) от коррозионно-механических повреждений компонентами окружающей среды.

### Литература

1. Близнец, М.М. Влияние высокомолекулярных добавок на износостойкость эпоксидных полимеров / М.М. Близнец, П.Д. Стухляк, П.В. Сысоев // Весці Акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1994. – № 3. – С. 3–6.

2. Нанокпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения / В.А. Струк [и др.]; ГрГУ им. Я. Купалы; под ред. В.А. Струка. – Гродно, 2006. – 403 с.

3. Физические основы модифицирования полимеров допинговыми добавками слоистых минералов / Г.А. Кузнецова [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 2002. – № 7. – С. 123–125.

4. Композиционные материалы на основе совмещенных матриц для защитных покрытий / А.С. Воронцов [и др.]; под науч. ред. В.А. Струка. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 532 с.

УДК 620.1:621:629:656.025

**Воронцов А.С., Липницкий О.А., Антонов А.С.**

(Гродненский государственный университет имени Янки Купалы)

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ ДИСТИЛЛЯЦИИ КАПРОЛАКТАМА ДЛЯ РОТОРНЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ**

**Введение.** Совершенствование технологии производств органического синтеза и нефтепереработки определяется проблемами экологии, энерго- и ресурсосбережения. Решение этих проблем может быть достигнуто в результате сокращения числа побочных продуктов, являющихся отходами производства [1, 2].

Капролактама является востребованным продуктом химической промышленности и используется, в основном, для получения полиамидных