

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)
14.577.21.0206

Название проекта

Разработка терморегулирующих покрытий, содержащих неорганические наночастицы, с улучшенными эксплуатационными и адгезионными свойствами для космических аппаратов

Тематическое направление

Индустрия наносистем

Исполнитель

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева"

Цели и задачи исследования

1. Снижение массы терморегулирующих покрытий при сохранении эксплуатационных и технических характеристик покрытия (адгезии к материалу корпуса, оптических и электрофизических характеристик, стойкости к факторам космического пространства).
2. Разработка наномодифицированных терморегулирующих покрытий с улучшенными характеристиками.

Актуальность и новизна исследования

Терморегулирующие покрытия (ТРП) относятся к пассивной системе терморегулирования. Назначение терморегулирующих покрытий космических аппаратов (далее ТРП КА) – обеспечение расчётных величин внешних тепловых нагрузок от излучения Солнца и планет и сброс тепла в космическое пространство. Определяющими характеристиками ТРП, являются коэффициент поглощения солнечного излучения и коэффициент теплового излучения (степень черноты).

Основным требованием к ТРП КА являются стабильность их оптических, электрофизических и адгезионных свойств в условиях космического пространства при эксплуатации КА в течение всего срока активного существования. Условия эксплуатации КА отличаются большой широтой в части воздействия факторов космического пространства (ФКП). Это определяется орбитами, на которых эксплуатируются КА. Однако общим является воздействие ионизирующих излучений на поверхности КА и электромагнитное излучение Солнца. Общим также является вакуум, глубина которого может изменяться в значительных пределах, а также температура, колеблющаяся от $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+1500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Важность и значимость предлагаемой работы обусловлена необходимостью улучшения материалов ТРП, связанной с ростом требований по уровню весовой эффективности, рабочего и календарного ресурса, надёжности и безопасности эксплуатации. Актуальными физическими и материаловедческими задачами являются исследование влияния наночастиц на адгезионные свойства ТРП, изучение воздействия климатических факторов на свойства ТРП, исследование коррозионных свойств покрытий, а также использование полученных

результатов при создании ТРП КА с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Описание исследования

В рамках исследования предполагается разработка методик получения наночастиц оксидов железа и цинка, также наноструктур на основе данных наночастиц и оболочки, состоящей из диоксида кремния. Разработанные в рамках выполнения работы наночастицы оксидов металлов будут покрыты оболочкой из диоксида кремния для дальнейшего введения в эмалевую композицию, предназначенную для изготовления наномодифицированных терморегулирующих покрытий. Эмалевая композиция, используемая в работе, имеет следующий состав: сополимер, бутилметакрилата и амида метакриловой кислоты, растворители (бутанол, ксилол), черный термостойкий пигмент (для создания черной краски), белый пигмент (для создания белой краски). Модификация поверхности наночастиц неорганическим покрытием будет способствовать защите их от внешних воздействий (например, от окисления кислородом воздуха), обеспечит седиментационную устойчивость и агрегативную устойчивость наночастиц в эмалевой композиции. В рамках проведения проекта будут получены нанокomпозитные материалы состава Fe_3O_4 , $\gamma-Fe_2O_3$, ZnO , $Fe_3O_4@SiO_2$, $\gamma-Fe_2O_3@SiO_2$, $ZnO@SiO_2$, которые могут быть использованы в качестве модифицирующих добавок в терморегулирующих покрытиях. Данные полученные в ходе указанных исследований будут способствовать созданию терморегулирующих покрытий с высокой и стабильной в условиях эксплуатации адгезионной прочностью, которая благоприятно скажется на защитной и эксплуатационной способности покрытий.

Для осуществления цели проекта необходимо решить следующие задачи:

- 1) Изучить влияние наноразмерных добавок на характеристики терморегулирующих лакокрасочных покрытий;
- 2) Установить связь между количеством, природой и свойствами модифицирующих наноразмерных добавок и ключевыми характеристиками терморегулирующих лакокрасочных покрытий, такими как оптические, механические и другие;
- 3) Выявить тенденции изменения свойств наномодифицированных терморегулирующих лакокрасочных покрытий и установить оптимальные, с точки зрения рабочих характеристик получаемого покрытия, рецептуры эмалевых композиций и технологии их приготовления.
- 4) Провести обобщение полученных результатов; выявить наиболее перспективные области применения разрабатываемых терморегулирующих покрытий (ТРП); разработать рекомендации по применению наномодифицированных ТРП, а также рекомендации к проведению дальнейших научных исследований.

Для решения указанных задач, необходимо осуществить выполнение следующих работ:

- Анализ литературных данных по созданию наномодифицированных терморегулирующих покрытий;
- Разработка рецептур эмалей и эмалевых композиций для изготовления наномодифицированных терморегулирующих покрытий;
- Изучение оптических, электрофизических и адгезионных свойств исходных и модифицированных терморегулирующих покрытий;
- Корректировка составов и технологических режимов изготовления модифицирующих наноструктур;

- Дополнительное исследование стойкости покрытий к факторам космического пространства, термоциклированию, оценка газовой выделенности и кинетики газовой выделенности покрытий;
- Разработка рекомендаций по применению наномодифицированных ТРП.

Результаты исследования

Проведён отбор и анализ научно-информационных источников, затрагивающих проблему улучшения эксплуатационных и адгезионных характеристик терморегулирующих покрытий для космических аппаратов (ТРП КА), а также проблему получения наночастиц и наноструктур для модификации эмалевых композиций, предназначенных для получения ТРП КА. Разработаны методики получения наночастиц оксидов железа ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, Fe_3O_4) и оксида цинка.

Наночастицы $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, полученные методом соосаждения, имеют средний размер 7-14 нм; наночастицы Fe_3O_4 , полученные сонохимическим методом, имеют октаэдрическую или кубическую форму и средний размер частиц 25 нм; наночастицы Fe_3O_4 , полученные методом старения – октаэдрическую форму и средний размер частиц 65, 70, 81 и 88 нм. Получены и исследованы наночастицы ZnO различной формы. Наночастицы ZnO сферической формы, полученные при разных условиях синтеза, имеют средний размер частиц 10 нм и 20 нм; частицы ZnO стержнеобразной формы – средний диаметр стержней от 110 нм до 210 нм; частицы ZnO цветочноподобной формы – средний диаметр стержней 380 нм и 560 нм. Качественный состав всех полученных образцов подтвержден методом рентгенофазового анализа. Установлено влияние основных параметров синтеза (температура, концентрация и соотношение солей железа, воздействие ультразвука) на размер, форму и состав получаемых наночастиц.

Определены исходные характеристики и проведены испытания на стойкость к протонному излучению пигментов, наполнителей и пленкообразующих. На основании результатов испытаний в качестве пленкообразующих для рецептур эмалей и эмалевых композиций в выбранные литиевое жидкое стекло и сополимер АС. В качестве пигментов и наполнителей для белых эмалевых композиций выбраны BaSO_4 , $\text{ZnO}_{\text{цго}}$, BaAl_2O_4 . В качестве черных пигментов и наполнителей выбраны черный термостойкий пигмент, Co_3O_4 и сажа российского производства. В состав эмалевых композиций введены частицы Fe_3O_4 (70 ± 10 нм), $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (10 ± 2 нм), ZnO (с диаметром стержня 210 ± 90 нм, длиной $2,5 \pm 0,6$ мкм). Введение частиц в состав рецептур эмалей и эмалевых композиций не оказывает влияния на их технологические характеристики (время диспергирования, вязкость, цвет эмали), жизнеспособность эмалей и эмалевых композиций составляет не менее 3 месяцев. На основе лабораторных эмалей и эмалевых композиций, содержащих наночастицы Fe_3O_4 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, частицы ZnO, методом пневматического распыления изготовлены покрытия. Определены оптические, электрофизические и адгезионные характеристики полученных покрытий. Введение частиц в состав эмалевых композиций повышает адгезию к алюминиевому сплаву АМг6 от 2-х до 1 балла. Результаты определения оптических и электрофизических характеристик покрытий показали, что

наночастицы Fe_3O_4 и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ увеличивают коэффициент поглощения солнечного излучения α_s покрытий. Частицы ZnO увеличивают коэффициент поглощения солнечного излучения α_s черных покрытий и не изменяют значение коэффициента поглощения солнечного излучения α_s белых покрытий. Введение частиц увеличивает коэффициент теплового излучения ϵ белых и черных покрытий. Удельное объемное сопротивление покрытий при введении частиц не изменяется.

Разработаны методики получения наноструктур $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$, $\text{ZnO}@\text{SiO}_2$ с контролируемым размером ядра и толщиной оболочки. Разработана методика введения наночастиц и наноструктур в эмалевые композиции и исследовано влияние вводимых наноструктур на свойства эмалевых композиций.

Практическая значимость исследования

Результаты проекта могут быть использованы для создания поглощающих и отражающих покрытий с улучшенными оптическими с улучшенными оптическими, электрофизическими и адгезионными свойствами. Помимо использования в качестве терморегулирующих покрытий космических аппаратов, данные покрытия могут быть использованы в гелиоэнергетике и аналогичных областях. Результаты проекта будут использованы для создания новых, улучшенных эмалевых композиций и покрытий на их основе.

Вследствие малой исследованности проблемы получения наномодифицированных терморегулирующих покрытий космических аппаратов, результаты проекта окажут влияние на развитие данной области науки и техники. Благодаря улучшенным адгезионным характеристикам создаваемых покрытий, возможно внедрение новых технологических процессов в сфере изготовления космических аппаратов.

Внедрение ожидаемых результатов обеспечит снижение массы выводимых аппаратов, повысит длительность их функционирования в условиях космического пространства. Таким образом, это будет способствовать снижению стоимости выведения и эксплуатации космических аппаратов, что будет способствовать более широкому внедрению космических и спутниковых технологий, и опосредованно улучшению эффективности навигации, современного сельского и лесного хозяйства и качества жизни граждан Российской Федерации.