

УДК 678.026

В.А. Кузнецова¹, Л.В. Семенова¹, Г.Г. Шаповалов¹**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ В ОБЛАСТИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ КРЕПЕЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОНТАКТНЫХ ПАР КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ (обзор)**

DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-1-25-31

Рассмотрены тенденции развития в области антикоррозионных полимерных составов для защиты от коррозии крепежных соединений контактных пар комбинированных конструкций, которые обеспечивают работоспособность летательных аппаратов, изготовленных из разнородных материалов, включая углепластики, при эксплуатации изделий в различных климатических зонах. Проведен анализ научно-технической документации и охраняемых документов ведущих стран мира по проблеме разработки антикоррозионных полимерных составов для защиты от коррозии крепежных соединений контактных пар комбинированных конструкций.

Ключевые слова: эластичный полимерный антикоррозионный состав, эпоксидный олигомер, коррозионная стойкость, влагостойкость, адгезия, модификатор, отвердитель.

Development trends in the field of anticorrosive polymeric systems for corrosion protection of fixing connections of contact couples of combined structures which provide operability of aircraft made of dissimilar materials, including carbon plastics, at operation of products in different climatic zones are considered.

Scientific and technical documentation and titles of protection of leading countries of the world related to a problem of development of anticorrosive polymeric systems for corrosion protection of fixing connections of contact couples of combined structures are analyzed.

Keywords: elastic polymeric anticorrosive structure, epoxy oligomer, corrosion resistance, moisture resistance, adhesion, modifier, hardener.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Изделия авиационной техники нового поколения всех мировых производителей характеризуются значительным увеличением применения композиционных материалов, в том числе углепластиков. Это объясняется рядом преимуществ, которыми обладают изделия, выполненные из углепластиков по сравнению с конструкциями из традиционных металлических материалов. Во многих случаях применение углепластиков является единственно возможным способом снижения массы конструкции без ухудшения летных характеристик.

Известно, что в сборочных единицах, включающих углепластик и металлические материалы, углепластик является катодом, значительно более активным, чем медь и медные сплавы. Прямые коррозионные испытания и исследование электрохимических свойств металлических материалов в контакте с углепластиком показали, что наиболее уязвимы в таких сборочных единицах магниевые, алюминиевые сплавы, стали оцинкованные и кадмированные.

Одним из основных требований к покрытиям, применяемым для защиты от коррозии крепеж-

ных соединений, является их высокая коррозионная стойкость и влагостойкость, которые в основном обеспечивают сохранение конструкционной прочности соединительных элементов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) и защиту от коррозии сплавов разнородных металлов.

Для обеспечения работоспособности конструкций, состоящих из разнородных металлов и полимерных конструкционных материалов (углепластиков), в том числе крепежных соединений, при воздействии климатических факторов и коррозионных сред используются антикоррозионные лакокрасочные покрытия (ЛКП).

Обзор выполнен в рамках реализации комплексного научного направления 17. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия», раздел 17.7. «Лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1–5].

Обзор патентной научно-технической литературы

При проработке имеющейся патентной и научно-технической информации выяснилось, что основные направления разработок в каждой стране, начиная с России, связаны с повышением защитных, адгезионных, физико-механических свойств и влагостойкости покрытий, обеспечивающих защиту от коррозии и сохранение конструкционной прочности комбинированных конструкций: соединительных элементов из ПКМ и сплавов разнородных металлов. Особое внимание уделено снижению токсичности используемых антикоррозионных составов и повышению технологичности при их использовании.

Анализ отобранной научно-технической литературы и патентно-технической документации в области создания эластичных полимерных антикоррозионных составов, используемых для защиты от коррозии крепежных соединений и контактных пар комбинированных конструкций, показал, что при разработке антикоррозионных полимерных составов существенными являются как выбор связующего, состоящего в основном из полимерной матрицы, модификатора и отвердителя, так и наполнителей, которые влияют на эксплуатационные и технологические свойства покрытия.

Разработка защитных антикоррозионных составов и покрытий на их основе ведется по двум направлениям:

– антикоррозионные полимерные покрытия для протекторной защиты от коррозии изделий из черных металлов, обеспечивающие катодную защиту металла благодаря высокому содержанию металлических пигментов, которые, растворяясь, электрохимически защищают покрываемый металл. Однако действие этих металлических пигментов проявляется при высокой степени наполнения, когда достигается контакт между частицами, обеспечивающий хорошую электрическую проводимость пленок;

– антикоррозионные полимерные составы и покрытия на их основе, содержащие пассивирующие пигменты (неорганические окислители), которые являются ингибиторами анодного типа. Наиболее распространенными пассиваторами являются хроматы, молибдаты, вольфраматы, которые применяются при разработке антикоррозионных грунтовочных покрытий и защитных составов.

К анодным ингибиторам коррозии относятся также некоторые соединения со щелочными свойствами: фосфаты, силикаты, бораты и др.

Для замедления процесса коррозии применяют не только противокоррозионные пигменты, но также органические соединения или их синергические смеси. Применение органических ингибиторов зависит от состава пленкообразующего. По пассивирующей способности некоторые ингибиторы даже превосходят многие противокоррози-

онные пигменты. Поэтому в ЛКП ими частично или полностью заменяют токсичные пигменты или вводят дополнительно к пигментам с целью повышения защитных свойств.

В настоящее время для защиты контактов разнородных металлов используются антикоррозионные грунтовочные составы, которые обладают недостаточно высокой эластичностью. Однако при длительной эксплуатации происходит старение покрытия, увеличение внутренних напряжений в пленке покрытия, снижение эластичности, увеличение жесткости, приводящей к охрупчиванию покрытия. При высоких динамических знакопеременных нагрузках, которые испытывают сборные конструкции, в местах наибольшей концентрации напряжений и изгибающих нагрузок происходит ослабление адгезии покрытия к защищаемой поверхности, разрушение антикоррозионного грунтовочного покрытия, результатом которого является возникновение коррозионных поражений. Особенно быстро такие процессы возникают при контакте разнородных металлов [6–10].

Для обеспечения надежной антикоррозионной защиты контактов разнородных металлов, подвергающихся знакопеременным механическим нагрузкам, необходимо использовать эластичные антикоррозионные составы с высокой адгезией к защищаемой поверхности, обеспечивающие длительную защиту конструкций [10, 11].

В качестве связующих для антикоррозионных защитных покрытий широко применяются модифицированные эпоксидные, алкидные и другие полимерные связующие [5, 7].

В России во ФГУП «ВИАМ» проводятся работы по созданию высокоэффективных полимерных составов для защиты от коррозии крепежных соединений, в том числе в топливных кессон-баках, на основе модифицированных эпоксидных или эпоксидно-кремнийорганических связующих (RU 2260610, опубл. в 2005 г.). Разработаны антикоррозионные грунтовочные покрытия (RU 2196792, опубл. в 2003 г.; RU 2290421, опубл. в 2006 г.), которые могут быть использованы для защиты алюминиевых сплавов и сталей. Эти покрытия обладают высокими адгезионными, физико-механическими и защитными свойствами, водо- и топливостойкостью [10–17].

В настоящее время разработаны защитные полимерные антикоррозионные составы барьерного типа. Такие покрытия содержат наполнители чешуйчатого типа, которые образуют защитный барьерный слой, препятствующий проникновению коррозионной среды к поверхности металла.

Исследователем В.И. Махриным (ЗАО «Новые Технологии», г. Томск) разработана композиция антикоррозионного покрытия для повышения долговечности и сохранения эксплуатационных свойств оборудования. Состав содержит модифицированный эпоксидный олигомер, отверждаемый кремнийорганическим амином, а в качестве

наполнителя использован ингибирующий пигмент – природный спекулярит, мелкочешуйчатый α -оксид железа. Покрытие обладает высокими защитными свойствами в условиях воздействия коррозионной среды (RU 2174136, опубл. в 2001 г.).

В ПАО «Базальтопластик» разработан полимерный защитный состав антикоррозионного покрытия барьерного типа на основе эпоксидных связующих, отверждаемого ароматическим олигоамидом. В качестве наполнителя в композиции использована андезитовая базальтовая чешуя. Покрытие обладает высокими защитными свойствами в атмосферных условиях (RU 2351624, опубл. в 2009 г.).

В ООО НПП «Лаки Краски Порошки», АО «Кронос СПб» разработаны антикоррозионные цинксодержащие составы протекторного типа на основе модифицированного полимерного связующего для защиты от коррозии стальных конструкций (RU 2304602, опубл. в 2007 г.; RU 2378305, опубл. в 2010 г.). Эти составы обеспечивают длительную протекторную защиту в агрессивных средах.

В ЗАО НПО «Лакокраспокрытие» разработана толстослойная антикоррозионная лакокрасочная система для защиты от коррозии металлических поверхностей на основе водной акрилсодержащей дисперсии, которая содержит антикоррозионные пигменты, а также водорастворимый органический ингибитор коррозии (RU 2460748, опубл. в 2012 г.). Антикоррозионная система повышает долговечность металлоконструкций.

В АО «НПО Энергомаш им. В.П. Глушко» разработан способ защиты от коррозии разъемных соединений (RU 2203350, опубл. в 2003 г.). Способ позволяет нанести защитное покрытие, взрывобезопасное и несгораемое при контакте с парами жидкого кислорода.

Большое внимание уделено разработке антикоррозионных нетоксичных ингибиторов коррозии, которые могут быть использованы для создания антикоррозионных составов и покрытий. Большое внимание в настоящее время уделяется разработке органических ингибиторов коррозии.

Во ФГОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» разработан летучий ингибитор коррозии на основе алкилимидазолинов, паранитрофенола, триэтиламина и изопропилового спирта. Разработанный ингибитор коррозии повышает долговечность конструкций и стабильность защитной пленки (RU 2284369, опубл. в 2006 г.).

В ПАО «Газпром» разработан органический ингибитор коррозии, продукт взаимодействия жирных карбоновых кислот и полиэтиленполиаминов, который существенно повышает степень защиты от коррозии (RU 2421549, опубл. в 2011 г.).

Ведущей фирмой среди разработчиков комплексного подхода к проблеме защиты от коррозии крепежных соединений и контактных пар

комбинированных конструкций является компания Socomoge, штаб-квартира которой находится во Франции. Компания имеет 7 филиалов по всему миру – в Германии, странах ЕС, Польше, Украине, России, Китае и Гонконге.

Фирма Socomoge предлагает широкий диапазон экспертных решений в области обработки, подготовки и защиты металлических и композиционных материалов для различных областей промышленности, в том числе 35 лет занимается решением проблем, связанных с аэрокосмической промышленностью. Фирма имеет научно-исследовательское отделение, работающее в соответствии с изменениями законодательства относительно здоровья, безопасности и защиты окружающей среды (HSE – управление по охране труда Великобритании). Разрабатываемые материалы предназначены для подготовки и защиты металлов и композитов.

Основными разработками фирмы Socomoge являются: компаунды, замедляющие коррозию; составы для удаления краски; обезжиривающие материалы; очистители; восстановители; широкий ассортимент продуктов для двигателей; антиадгезионные агенты и промоторы адгезии; временные защитные компаунды; золь-гели для обработки поверхности под окраску и склеивание. Разработки в области нанесения золь-гель покрытий (в том числе технологии и соответствующее оборудование) запатентованы и лицензированы фирмой Boeing Comp.: US 5.789.085, опубл. в 1998 г., US 5.789.085 опубл. в 1998 г., US 5.869.141, опубл. в 1999 г. и др.). Золь-гель покрытие для обработки поверхности металла под окраску и склеивание получают на чистых активированных металлических поверхностях с зольными покрытиями, содержащими органометаллические сцепляющие агенты в нужной ориентации, обеспечивающие высокую адгезию покрытий и клеевых соединений [18].

Для защиты резьбовых соединений от фреттинг-коррозии и контактной коррозии в США широко применяются защитные составы на основе полимерных связующих: акрилового, силиконового, полиуретанового, алкидного, эпоксидного и др., которые содержат хлопья металлов, а также тиксотропирующие компоненты (US 5.348.668, опубл. в 1994 г.; US 6.960.555, опубл. в 2005 г.).

В компании Dow Corning Corp. разработан комбинированный состав покрытий для защиты крепежных деталей, дверных замков, стопперов и др. В качестве связующего используют смесь силикатов и трифеноламинтитаната. В качестве ингибиторов коррозии – фосфаты цинка, кальция, а также частицы металлов, выполняющих роль протекторов, – например, алюминий и цинк. В состав покрытия также входят растворители, загустители и другие компоненты (US 7.138.184, опубл. в 2006 г.).

Среди американских разработок следует также отметить работы, проводимые в фирме United

Technologies Corporation. Основное внимание при разработке антикоррозионных составов уделено снижению токсичности разрабатываемых материалов. Для защиты алюминиевых сплавов и сталей разработан состав бесхроматного покрытия для предотвращения общей и питтинговой коррозии на основе водоразбавляемого эпоксидного связующего. В качестве ингибиторов коррозии используются смеси бесхроматных пигментов: молибдат церия с ванадатом висмута, фосфат церия с вольфраматом стронция, ванадат висмута с молибдатом висмута и вольфраматом стронция (US 6.758.887, опубл. в 2004 г.).

В фирме Metall Coatings International Inc. производят одноупаковочные составы на основе оксифункциональных силанов и водоразбавляемых связующих, в том числе содержащие частицы металлов, для защиты стального крепежа (US 6.270.884, опубл. в 2001 г.; патент EP1199339, опубл. в 2002 г.).

В фирме PPG Desoto Ind. Inc. большое внимание уделяют разработке полимерных коррозионностойких протекторных составов для покрытий, содержащих ингибиторы коррозии, на основе мелкодисперсного порошка цинка (US 2007256590, опубл. в 2007 г.).

В последние годы в качестве ингибиторов коррозии широко применяются органические соединения, замедляющие процесс коррозионного разрушения металлов (органические ингибиторы). Применение органических ингибиторов зависит от состава пленкообразующего – чаще они используются в составе водоразбавляемых защитных композиций. В фирме Cytec Technology Corp. занимаются разработкой водоразбавляемых бесхроматных композиций для соединения конструкций, содержащих эпоксидную смолу и отвердитель. В качестве ингибиторов коррозии использованы органические соединения из группы аминобензотриазольных, бензотриазольных, фенилмалеимидных, меркаптобензимидазольных соединений, а также неорганические соединения, содержащие ион из группы: ванадатов, молибдатов, соединений церия и их комбинаций (US 2010/0247922, опубл. в 2010 г.).

Одной из наиболее интересных разработок фирмы GM Global Technology Operation LLC является технология создания защитного антикоррозионного покрытия в клеевом соединении конструкции, представляющего собой неотвержденный эпоксидный клей, в котором диспергированы микрокапсулы, содержащие ингибирующий жидкий компонент, способный реагировать с поверхностью металла (сталь, алюминий или магний). Коррозионные процессы замедляются в результате диффузии ингибирующего компонента к поверхности металла, при этом образуется защитное покрытие на поверхности металла (US 8.101.036, опубл. в 2012 г.).

Среди европейских разработчиков антикоррозионных защитных составов следует отметить фирму Enviropeel International Limited (US 2002/011952, опубл. в 2002 г.), которая является разработчиком состава и способа получения удаляемого защитного покрытия в виде оболочки. Такое покрытие используется для временной защиты резьбовых соединений.

Шведское отделение фирмы BASF SE (US 8.105.689, опубл. в 2012 г.) является одной из ведущих фирм по разработке и изготовлению основных компонентов и модификаторов для полимерных и клеевых композиций, повышающих эксплуатационные и защитные свойства полимерных покрытий.

В Японии фирмой Mitsui Chemicals Inc. разработаны бесхроматные коррозионностойкие полимерные составы на основе эпоксидных связующих, модифицированных полисульфидом, отверждаемые при комнатной температуре, которые обладают высокой топливно- и водостойкостью, устойчивы к действию растворителей (JP 2007 100007, опубл. в 2007 г.). Большое внимание в японских разработках уделено созданию многофункциональных защитных эпоксидных композиций, содержащих пигменты с функцией ингибитора коррозии (цинк, фосфаты, фосфиты металлов), такой фирмой, как Chugoku Marine Paints LTD (EP 1 947 154, опубл. в 2008 г.).

Среди китайских разработок следует отметить развиваемое в университете Naiyuan Technology направление по созданию биоразлагаемого композитного ингибитора коррозии и окалины, а также способов его получения для повышения экологичности применяемых покрытий (CN 1884141, опубл. в 2006 г.).

В рассмотренных охранных документах основное внимание уделяется защите металлических конструкций, а также контактных пар разнородных металлов от коррозии, но недостаточное внимание уделено защите мест контактов «металл–углепластик». В этих документах и научнотехнической литературе встречаются публикации о применении в защитных антикоррозионных составах технологии микрокапсулирования. Микрокапсулированные составы могут быть использованы для защиты крепежа.

Следует отметить, что ведущими фирмами особое внимание уделяется разработке экологически чистых защитных составов, не содержащих соединений Cr^{+6} , а также повышению экологичности при нанесении и формировании покрытий – создание многоуровневых защитных систем с применением комплексных ингибиторов коррозии.

В журнале *Electrochimica Acta* (november 2012, vol. 82, p. 314–323) представлены исследования в области разработки многоуровневых защитных систем, основанных на контролируемом выпуске антикоррозионных элементов из «умных» микро- наноконтейнеров (или нанорезервуаров),

Тенденции развития в области антикоррозионных полимерных составов для защиты от коррозии крепежных соединений контактных пар комбинированных конструкций

Выявленные тенденции развития объекта исследования	Фирмы-разработчики покрытий (номер патента)	Технические решения, реализующие тенденции
1. Повышение защитных свойств покрытий на основе эластичного защитного полимерного состава	The Boeing Comp. (US 6.506.499); Jet-Lube Inc. (US 5.348.668); Dow Corning Corp. (US 7.138.184); Wayne Pigment Corp. (US 7.662.241); Depor Industries (US 4.391.855); Metal Coatings International Inc. (US 6.270.884)	За счет применения высокоэффективных ингибиторов коррозии как катодного (мелкодисперсные порошки металлов), так и анодного типа (смеси пассивирующих пигментов)
2. Снижение токсичности применяемых защитных полимерных составов	United Technologies Corporation (US 6.758.887); Metal Coatings International Inc. (EP1199339); Schreiber Etc J (FR2616439); Univ Naiyuan Technology (CN 1884141); Marine Res Inct. of Chemical In. (CN 101210147)	За счет применения водоразбавляемых пленкообразующих, к которым можно отнести водоразбавляемые эпоксидные, эпоксифенольные, акриловые, меламиноалкидные и др., а также за счет применения активных разбавителей вместо органических растворителей
	Chugoku Marine Paints LTD (EP 1 947 154); The Boeing Comp. (US 6.077.885); Wayne Pigment Corp. (US 7.662.241); Cytec Technology Corp. (US 2010/0247922)	За счет замены токсичных хроматных ингибиторов на нетоксичные (оксиды и соли различных металлов, в том числе органомодифицированные, а также органические водорастворимые ингибиторы – соли органических кислот и их смеси)
3. Повышение адгезии покрытия на основе эластичного защитного полимерного состава к защищаемой поверхности	The Boeing Comp. (US 5.789.085); BASF SE (US 8.105.689); Marine Res Inct. of Chemical In. (CN 101210147); Mitsui Chemicals Inc. (JP 2007 100007)	За счет применения модификаторов и структурообразующих наполнителей, способствующих образованию более плотной структуры и, соответственно, достижению более высоких адгезионных характеристик покрытий
4. Повышение технологичности при нанесении применяемых эластичных антикоррозионных полимерных составов	The Boeing Comp. (US 2010/0098956, US 7.001.666); Collard & Roe, (US 2010/0098956); Atotech Deutschland GmbH (US 842.403 B2)	За счет сокращения технологического цикла нанесения и формирования покрытий
	GM Global Technology Operation LLC (US 8.101.036); Silberline Limited (US 6.398.861)	За счет использования технологии микрокапсулирования

включенных в полимер или гибридную полимерную матрицу.

А.А. El-Meligi в журнале *Recent Patents on Corrosion Science* (2010, No. 2, p. 22–33) разработана стратегия предотвращения коррозии как критическая необходимость для снижения загрязнения окружающей среды. Основное внимание уделено замене соединений токсичного хромата Cr⁶⁺ на соединения редкоземельных элементов.

В журнале *International Journal of Electrochemical Science* (2012, No. 7, p. 3672–3680) рассмотрен процесс формирования комплексного барьерного слоя, изготовленного электродеполяризацией и первичной полимеризацией на алюминиевых сплавах, обеспечивающего хорошую защиту от коррозии.

Большой интерес представляет публикация в журнале *Progress in Organic Coatings* (2011,

vol. 70, No. 4, p. 342–352), в которой проведено сравнение некоторых методов синтеза прочных макрокапсул для самозалечивающихся противокоррозионных покрытий. Представлены результаты экспериментов, имевших целью выявление оптимальных условий для применения самозалечивающихся эпоксидных противокоррозионных покрытий, содержащих выделяющийся при повреждении покрытия сшивающий агент микрокапсул, достаточно прочных для того, чтобы оставаться неповрежденными при хранении и применении эпоксидного материала [19–24].

При анализе научно-технической литературы и охраняемых документов выявили следующие тенденции развития в области создания эластичных полимерных антикоррозионных составов (см. таблицу).

Заключения

Проведенный анализ позволил выявить уровень свойств защитных полимерных составов, который определяется как свойствами полимерной матрицы, так и химической природой и структурой вводимых в полимерную матрицу наполнителей.

Основными принципами создания эластичных защитных полимерных составов являются:

- повышение защитных свойств покрытий на основе эластичных антикоррозионных полимерных составов благодаря применению высокоэффективных ингибиторов коррозии как катодного (мелкодисперсные порошки металлов), так и анодного типа (смеси нетоксичных пассивирующих пигментов);
- снижение токсичности защитных полимерных составов путем применения водоразбавляемых пленкообразующих, активных разбавителей, а также за счет замены токсичных хроматных пигментов (ингибиторов) на нетоксичные. В качестве таких пигментов используют оксиды и соли различных металлов, в том числе органомодифицированные, а также водорастворимые ингибиторы – соли органических кислот и их смеси;
- повышение технологичности при нанесении применяемых эластичных антикоррозионных полимерных составов за счет сокращения техноло-

гического цикла нанесения и формирования покрытий, а также путем использования технологии микрокапсулирования.

Повышение вышеуказанных характеристик при создании эластичных антикоррозионных полимерных составов может быть достигнуто:

- оптимизацией состава полимерного пленкообразователя, отвечающего заданным требованиям по адгезионным, физико-механическим характеристикам и водостойкости (применение модифицированных эпоксидных и полиуретановых композиций);
- использованием высокоэффективных ингибиторов коррозии как катодного, так и анодного типа;
- использованием микроармирующих наполнителей, способствующих формированию более плотной структуры и, соответственно, достижению более высоких эксплуатационных характеристик покрытий;
- оптимизацией технологического цикла формирования покрытий.

Следует отметить, что при разработке эластичных антикоррозионных полимерных составов чаще всего используют низкомолекулярные модифицированные эпоксидные или полиуретановые связующие и активные разбавители.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2012. 520 с.
3. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // *Вестник Российской академии наук*. 2002. Т. 72. №1. С. 3–12.
4. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // *Вестник Российской академии наук*. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
5. Лакокрасочные покрытия // *История авиационного материаловедения: ВИАМ – 75 лет поиска, творчества, открытий / под общ. ред. Е.Н. Каблова*. М.: Наука, 2007. С. 152–158.
6. Семенова Л.В., Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Нефедов Н.И. Электроизоляционные свойства полимерных покрытий // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн*. 2014. №8. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.02.2014). DOI 10.18577/2307-6046-2014-0-8-7-7.
7. Чебогаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. М.: Машиностроение, 1978. С. 214–220.
8. Каблов Е.Н. Коррозия или жизнь // *Наука и жизнь*. 2012. №11. С. 16–21.
9. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
10. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А., Малова Н.Е. Развитие авиационных лакокрасочных материалов // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2012. №5. С. 49–54.
11. Гольдберг М.М., Корюкин А.В., Кондрашов Э.К. Покрытия для полимерных материалов. М.: Химия, 1980. 287 с.
12. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А. Основные направления повышения эксплуатационных, технологических и экологических характеристик лакокрасочных покрытий для авиационной техники // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. №1. С. 96–102.
13. Семенова Л.В., Нефедов Н.И. Применение эпоксидных модифицированных грунтовок в системах ЛКП // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №3. С. 38–44. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-38-44.
14. Кузнецова В.А., Деев И.С., Кондрашов Э.К., Кузнецов Г.В. Влияние отвердителей на микроструктуру и свойства модифицированного эпоксидного связующего для топливостойкого покрытия // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2012. №11. С. 38–41.

15. Кузнецова В.А., Кондрашов Э.К., Семенова Л.В., Кузнецов Г.В. О влиянии формы частиц оксида цинка на эксплуатационные свойства полимерных покрытий // *Материаловедение*. 2012. №12. С. 12–14.
16. Семенова Л.В., Родина Н.Д., Нефедов Н.И. Влияние шероховатости систем лакокрасочных покрытий на эксплуатационные свойства самолетов // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №2. С. 37–40.
17. Кузнецова В.А., Деев И.С., Кузнецов Г.В., Кондрашов Э.К. Влияние наполнителя на усталостную прочность и микроструктуру свободных полимерных пленок покрытий при циклическом растяжении // *Заводская лаборатория*. 2014. №5. С. 35–39.
18. Fang Wang, Junjun Liu, Yuefei Li, Ruibin Fan, Yan-ni Li. Complex Barrier Layer of Triazinedithoil Prepared by Electrodeposition and Initiated Polymerization on aluminum Alloy towards Corrosion Protection // *International Journal of Electrochemical Science*. 2012. No. 7. P. 3672–3680.
19. Langer E., Kuczynska H., Kaminska-Tarnawska E., Lukashuk J. Self-stratifying coatings containing barrier and active anticorrosive pigments // *Progress in Organic Coatings*. 2011. Vol. 71. No. 2. P. 162–166.
20. Zheludkevich M.L., Tedim J., Ferreira M.G.S. «Smart» coating for active corrosion protection based on multi-functional micro and nanocontainers // *Electrochemical Acta*. 2012. Vol. 82. P. 314–323.
21. Moreno C., Hernandez S., Santana J.J., Gonzalez-Guzman J., Suoto R.M., Gonzalez S. Chitosan-based self-healing protective coatings doped with cerium nitrate for corrosion protection of aluminum alloy // *International Journal of Electrochemical Science*. 2012. No. 7. P. 8444–8457.
22. Carneiro J., Tedim J., Fernandes S.C.M., Freire S.C.R., Silvestre A.J.D., Gandini A., Ferreira M.G.S., Zheludkevich M.L. Chitosan-based self-healing protective coatings doped with cerium nitrate for corrosion protection of aluminum alloy 2024 // *Progress in Organic Coatings*. 2012. Vol. 75. No. 1–2. P. 8–13.
23. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. М.: Химия, 1969. 319 с.
24. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. Л.: Химия, 1981. 252 с.