ВИАМ/2013-Тр-12-05

УДК 667.637.233

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.Н. Иванникова

Г.Г. Шаповалов

Декабрь 2013

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале *«Труды ВИАМ»*, №12, 2013 г.

УДК 667.637.233

Н.Н. Иванникова, Г.Г. Шаповалов

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Развитие современной техники, в частности авиационной, позволяет создавать новые композиционные материалы на основе традиционных материалов, используемых в различных конструкциях. Анализ таких конструкционных материалов на основе металлических композиционных материалов с гибридным армированием волокон позволяет сделать вывод о коррозионном воздействии на границе «металл–волокно», которое является катодом по отношению к сплавам, что может привести в условиях коррозионной среды к разрушению композиционного материала. Выбраны схемы для обеспечения защиты поверхности металлических композиционных материалов.

Ключевые слова: *лакокрасочные материалы, покрытия, армирующие волокна, контактная коррозия, металлические композиционные материалы.*

N.N. Ivannikova, G.G. Shapovalov

THE SECURITY TECHNOLOGY OF THE DESIGN OF METAL COMPOSITE MATERIALS

The development of modern equipment, in particular aviation, allows creation of new composite materials on the basis of the traditional materials used in different designs. Analysis of such constructional materials on the basis of metal composite materials with a hybrid reinforcing of fibers allows to make a conclusion about corrosion attacks on the boundary of metal-fiber, which is the cathode in relation to alloys, which can result in the conditions of corrosive environment to the destruction of the composite material. Schemes for providing surface protection of metal composite materials are chosen.

Key words: *paint-and-lacquer materials, coatings, reinforcing fibers, contact corrosion, metal composite materials.*

Крупным достижением последних десятилетий явилось создание нового класса материалов на основе металлической матрицы и упрочняющих компонентов, в качестве которых могут использоваться борные, углеродные и другие волокна (металлические композиционные материалы) [1–5].

Армирование легких металлов (алюминия, титана, магния) высокопрочными и высокомодульными волокнами – эффективный технологический прием, позволяющий в несколько раз повысить прочность и жесткость материала, особенно в направлении приложения максимальных усилий, а также температурный уровень эксплуатации деталей из них [4–7].

В связи с тем, что армирование композиционных материалов (КМ) производится волокнами, являющимися катодом по отношению к алюминиевым сплавам, и образующиеся по границам раздела элементов интерметаллиды (например, диборид алюминия) либо также являются катодами, либо сами обладают низкой коррозионной стойкостью, обеспечение надежной коррозионной стойкости этих материалов и необходимой защиты их от коррозии является важнейшим вопросом в определении возможности применения деталей из металлических КМ, особенно в авиационных конструкциях [1–3, 8].

В условиях коррозионной среды коррозионному воздействию подвергается внешний металлический слой КМ и металл на границе «металл–волокно» по торцам материала и местам установки крепежа, причем торцы и места установки крепежа и заклепок требуют усиленной коррозионной защиты. Для устранения коррозии рекомендуют металлургические способы заделки торцов: заплавление или электронно-лучевую обрезку. Таким образом, разработка технологических схем антикоррозионной защиты металлических КМ имеет существенное значение [6, 9].

Композиционные материалы ВКА-1 и ВКА-1А представляют собой систему, в которой матрица из алюминиевого сплава армирована волокнами бора; КАС-1А – матрица из сплава АВ армирована проволокой из нержавеющей стали; ВКУ-1 – получается методом пропитки матричным металлом В93 пакета углеродных волокон [3, 10].

Установлено, что исследуемые металлические КМ с гибридным армированием в состоянии поставки обладают низкой коррозионной стойкостью и применение их без защи-

ты системами ЛКП невозможно. При воздействии 3%-ного раствора NaCl (распыление или погружение в раствор) через 730 сут на поверхности КМ наблюдаются точки коррозии по торцам и основной поверхности, причем наиболее значительные на образцах из материала ВКУ-1. Использование комбинированных пакетов с применением на внешней поверхности стекловолокна повысило коррозионную стойкость, но несущественно. Наиболее высокой коррозионной стойкостью обладали образцы с четырьмя слоями стекловолокна. Коррозионная стойкость модифицированного материала ВКУ-1н ниже, чем у материала ВКУ-1, очевидно, из-за значительной неравномерности распределения углеродных волокон в матрице ВКУ-1н [11, 12]. Данные по коррозионной стойкости исследуемых КМ в условиях камеры солевого тумана приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коррозионная стойкость металлических композиционных материалов после испытаний в камере солевого тумана

Материал	Вид подготовки поверхности	Состояние поверхности образца после испытаний в камере солевого тумана
ВКА-1	Ан.Окс.нхр	Отдельные точки коррозии по поверхности и торцам через 12 мес
	Ан.Окс.хром	Отдельные точки коррозии по поверхности и торцам через 12 мес. Через 3 мес рыхлая коррозия по торцам
	Хим.Фос.окс	Начало коррозии через 12 мес. Через 3 мес темные точки коррозии по торцам
	Травление	Начало коррозии через 1030 сут. Через 3 мес сплошная коррозия в виде темных пятен
КАС-1А	Ан.Окс.нхр	Сплошная коррозия по всей поверхности в виде темных пятен через 3 мес
	Ан.Окс.хром	То же
	Хим.Фос.окс	-«-
	Травление	-«-
ВКУ-1	Травление + + Хим.Фос.окс	Сильная расслаивающая коррозия через 7 сут. Увеличение толщины образца в 22,5 раза
ВКУ-1н с модифицированными волокнами	То же	Расслаивающая коррозия через 7 сут. Увеличение толщины образца в 24 раза
ВКУ-1 со стекловолокном в поверхностном слое	-«-	Сильная расслаивающая коррозия. Увеличение толщины образца в 23 раза

Защитные свойства ЛКП определяются рядом факторов, главным из которых является адгезионная способность. Решающее влияние на адгезионную способность оказывает способ подготовки поверхности. Исследовали грунтовки и системы ЛКП: серийно применяе-

мые грунтовки ЭП-076, ЭП-0215, ЭП-0214, АК-0209 и системы на основе эмалей ЭП-140, ЭП-140М, КО-856 [6, 11, 13].

Исследуемые грунты при всех рассматриваемых видах подготовки поверхности имеют хорошую или удовлетворительную адгезию к материалам ВКА-1, КАС-1А (табл. 2). Более высокие показатели адгезии получены при подготовке поверхности материалов ВКА-1 и КАС-1А анодированием в серной кислоте или химическим оксидированием с грунтами ЭП-076 и ЭП-0214 [3, 7, 11, 14].

Таблица 2

Адгезия ЛКП к поверхности металлических композиционных материалов

Система ЛКП	Вид подготовки поверхности матрицы	Адгезия, балл (ГОСТ 15140–82), после 10 сут выдержки в дистиллированной воде материала		
		КАС-1А	ВКА-1	ВКУ-1
Грунтовка ЭП-076	Ан.Фос.окс + Ан.Окс.нхр	2	2–3	–
	Хим.Окс.хром	2	1	–
	Ан.Окс.нхр	2	2	–
	Ан.Окс.хром	1	2	–
Грунтовка ЭП-0214	Ан.Фос.окс + Ан.Окс.нхр	2	2	–
	Хим.Окс.хром	2	1	–
	Ан.Окс.нхр	2	2–1	–
	Ан.Окс.хром	2	2	–
Грунтовка АК-0209	Ан.Фос.окс + Ан.Окс.нхр	3	3	–
	Хим.Окс.хром	3	3	–
	Ан.Окс.нхр	3	2–3	–
	Ан.Окс.хром	2	2	–
Грунтовка ЭП-076 холодной сушки +	Травление+Хим.Окс.хром (матрица из сплава В93)	–	–	2–3
+ грунтовка ЭП-076 горячей сушки (100°С, 2 ч) +	Стекловолокно (3 слоя) + +углеродная лента (10 слоев)+ +стекловолокно (3 слоя)	–	–	3–4
+ эмаль ЭП-140				
Грунтовка ЭП-0215 холодной сушки +	Травление+Хим.Окс.хром (матрица из сплава В93)	–	–	2–3
+грунтовка ЭП-0215 горячей сушки (100°С, 2 ч)+	Стекловолокно (3 слоя)+ +углеродная лента (10 слоев)+ +стекловолокно (3 слоя)	–	–	3–4
+эмаль ЭП-140				

Для материала ВКУ-1 из-за его высокой коррозионной активности целесообразно применение усиленных схем защиты с применением грунта и эмали. На образцах из материала ВКУ-1, имеющих в составе поверхностного слоя стекловолокно, адгезия заметно ниже [4, 6, 7, 15].

Конструкции из КМ могут выполняться сваркой, клеесваркой, склеиванием, соединением заклепками или болтами. Однако соединение листового КМ заклепками требует усиленной защиты, ввиду того что при рассверловке и клепке может происходить разрушение волокна и, как следствие этого, резкое снижение свойств материала с однонаправленным расположением волокна.

Для обеспечения надежной защиты исследовали вопросы защиты конструкций, имитирующих точечную электросварку и болтовое соединение. Для сварного варианта защита осуществлялась по травленой зашкуренной поверхности с последующим химическим оксидированием перед окраской. Сварку осуществляли по грунтовкам ФЛ-086, КФ-030, составу КСП-1, пасте АЛКМ-1. Для защиты торцов и мест постановки крепежа использовали: грунтовки ЭП-076 и ФЛ-086, пасту ВП-1, шпатлевки ЭП-0082 и ЭП-0061.

Для защиты основной поверхности применяли одну из следующих систем ЛКП: грунтовка ЭП-076 (или грунтовка АК-070)+эмаль ЭП-140; грунтовка ЭП-076 (или грунтовка АК-070)+эмаль КО-856.

После 4 мес испытаний сварных образцов из материалов КАС-1А и ВКА-1 в камерах влажности и солевого тумана коррозионные поражения отсутствуют как по основной поверхности, так и по сварному шву. Имеют место лишь участки сыпи на 10–20% поверхности образцов.

Испытания образцов из материала ВКА-1 с болтовыми соединениями в течение 2 мес в тропической камере влажности показали, что через 1 мес испытаний лишь при одном варианте защиты – заделка торцов шпатлевкой ЭП-0061 – имели место два участка коррозии по торцам. В остальных вариантах испытаний коррозионные поражения отсутствуют.

На образцах из материала ВКУ-1 с системами защиты по основной поверхности: грунтовка ЭП-076 (или грунтовка ЭП-0215)+грунтовка ЭП-076 (или грунтовка ЭП-0215)+ эмаль ЭП-140; с защитой торцов (горячая сушка при 100°С, 2 ч) по схеме: грунтовка ЭП-076 (или грунтовка ЭП-0215)+эмаль ЭП-140 (или паста ВП-1) или грунтовка ЭП-0215+герметик У-30МЭС-5 после 2 мес испытаний в камерах солевого тумана и влажности – коррозионных поражений нет.

В ВИАМ также разработана грунтовка ЭП-0215М, которая характеризуется более высокими адгезионными свойствами, может применяться в системах покрытий с эпоксидными и полиуретановыми эмалями (в том числе импортными). Грунтовка ЭП-0215М облада-

ет более высокими технологическими свойствами, что позволяет сократить технологический цикл окраски изделия без ухудшения эксплуатационных характеристик покрытия. Система покрытия на основе антикоррозионного грунтовочного покрытия ЭП-0215М обладает высокими физико-механическими, защитными и декоративными свойствами. Применение указанной грунтовки позволяет снизить токсичность при окраске изделия (за счет исключения операции зашкуривания грунтовочного покрытия). Грунтовка ЭП-0215М может применяться при окраске внутренней и внешней поверхностей планера самолета, а также других изделий.

Таким образом, проведенные коррозионные испытания образцов из КМ позволяют выбрать схему для обеспечения защиты поверхности металлических композиционных материалов. Защита торцов и мест постановки крепежа должна осуществляться по усиленной схеме. Целесообразно предусматривать их защиту металлургическим путем (заплавление или электронно-лучевая обрезка).

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
3. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 231–242.
4. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Балинова Ю.А. Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №2 (электронный журнал).
5. Мигунов В.П., Фарафонов Д.П., Деговец М.Л. Пористоволокнистый материал сверхнизкой плотности на основе металлических волокон //Авиационные материалы и технологии. 2012. №4. С. 38–41.
6. Чеботаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. М.: Машиностроение. 1978. 295 с.

7. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
8. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Балинова Ю.А. Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №2 (электронный журнал).
9. Хохлатова Л.Б., Колобнев Н.И., Антипов В.В., Каримова С.А. и др. Влияние коррозионной среды на скорость роста трещины усталости в алюминиевых сплавах //Труды ВИАМ. 2013. №3 (электронный журнал).
10. Акатенков Р.В., Кондрашов С.В., Фокин А.С., Мараховский П.С. Особенности формирования полимерных сеток при отверждении эпоксидных олигомеров с функциализованными нанотрубками //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 31–37.
11. Семенова Л.В., Малова Н.Е., Кузнецова В.А., Пожога А.А. Лакокрасочные материалы и покрытия //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 315–327.
12. Каблов Е.Н., Кондрашов С.В., Юрков Г.Ю. Перспективы использования углеродсодержащих наночастиц в связующих для полимерных композиционных материалов //Российские нанотехнологии. 2013. Т. 8. №3–4. С. 28–46.
13. 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.
14. 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.
15. Солнцев Ст.С., Розененкова В.А., Миронова Н.А., Гаврилов С.В. Высокотемпературные тонкопленочные покрытия для уплотнительных материалов из металлических волокон //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 30–37.