

УДК 669.018.95:678.8

А.О. Лоцинина¹, В.Я. Белоус¹, В.Е. Варламова¹, Я.Ю. Никитин¹

О ВЛИЯНИИ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ХОЛОДНОКАТАНОЙ ЛЕНТЫ ИЗ СТАЛИ ВНС-9-Ш НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА И ЕГО КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ В КСТ-35

DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-3-10-10

Рассмотрены результаты сравнительной оценки коррозионной стойкости образцов металлополимерного композиционного материала (МПКМ) на основе высокопрочной ленты из стали ВНС-9-Ш и углепластика ВКУ-44 в условиях камеры солевого тумана КСТ-35 после 1, 2 и 3 мес испытаний.

Рассмотрено влияние различной предварительной подготовки поверхности пластин ленты из стали ВНС-9-Ш на адгезию при изготовлении образцов МПКМ. Определены средние значения напряжений до разрушения клевого соединения образцов при механических испытаниях на сдвиг.

Ключевые слова: *коррозионностойкая сталь, химическая обработка, гальванические покрытия, травление, абразивная паста, обдувка корундовым песком, катодное фосфатирование, никелирование, испытания на сдвиг.*

Results of a comparative assessment of corrosion resistance of samples of metal-polymer composite material (MPKM) on the basis of a high-strength tape from VNS-9-Sh steel and a coal plastic VKU-44 in the conditions of the camera of salt fog KST-35 after 1, 2 and 3 months of tests are considered.

Influence of various surface pre-treatment of steel plates of the VNS-9-Sh tape on adhesion during production of MPKM samples is considered. Average values of tension before destruction of samples glue joints at mechanical shear tests for shift are defined.

Keywords: *stainless steel, chemical treatment, electroplated coating, etching, abrasive paste, blowing by corundum sand, cathodic phosphate coating, nickel plating, shear tests.*

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

Новый уровень развития авиации в будущем могут обеспечить только принципиально новые материалы [1] и технологии, так как традиционные себя уже исчерпали – дальнейшее их использование дает незначительные результаты при существенных затратах.

Одними из приоритетных стратегических направлений развития материалов и технологий в мире являются слоистые металлополимерные материалы [2].

Производство композиционных и функциональных материалов нового поколения – одно из самых быстро развивающихся в мире направлений, которое вносит наибольший вклад в увеличение валового внутреннего продукта в каждом регионе [3].

Металлополимерные композиционные материалы (МПКМ) состоят из чередующихся тонких (0,3–0,5 мм) металлических листов и прослоек полимерных композитов (клевого препрега с армирующими высокопрочными волокнами). Количество и струк-

тура металлических листов и полимерных прослоек определяется в зависимости от назначения и конструкции будущей детали [4].

Применение армирующих высокопрочных волокон и использование компонентов с взаимодополняющими свойствами (металла и полимерного композита) позволяют повысить характеристики прочности и вязкости разрушения МПКМ. Использование композитов обычно позволяет уменьшить массу конструкции при сохранении или улучшении ее механических характеристик [5].

На техническое состояние авиационной техники существенное влияние оказывает не механический износ деталей, а процессы коррозии и старения конструкционных материалов под воздействием комплекса климатических факторов – температуры, влажности, солнечного излучения и др. Полимерные материалы могут существенно изменять свои прочностные характеристики, что необходимо учитывать при проектировании изделий авиационной техники, предназначенных для эксплуатации во всеклиматических условиях. Необходимость учета воздействия климатических факторов на материалы отражена в Авиационных правилах [6].

Наиболее агрессивными климатическими зонами для эксплуатации полимерных композиционных материалов (ПКМ) являются зоны тропического и субтропического климата вследствие снижения основных механических характеристик по мере возрастания величины тепловлажностных факторов.

Сотрудниками отрасли проведен большой комплекс исследований по влиянию влагопоглощения на механические характеристики МПКМ в процессе длительных экспозиций, ускоренными методами и на различных климатических станциях [7]. Исследованы свойства ПКМ после воздействия открытого космоса на околоземных орбитах [8, 9]*.

Установлено, что из-за диффузии атмосферной влаги, сорбируемой из окружающей среды, вследствие пластифицирующего эффекта полимерной матрицы, нарушения адгезии на границе «связующее–наполнитель» происходит снижение деформационно-прочностных характеристик композиционных материалов до 30% и более [10–14].

Появление новых материалов постепенно расширяет круг возможностей металлополимеров. Это касается в первую очередь устойчивости к повышенным температурам, химическим и абразивным средам.

Использование ленты из высокопрочной стали ВНС-9-Ш в качестве металлических листов при изготовлении МПКМ позволяет получить детали с улучшенными эксплуатационными характеристиками, так как лента из этой стали обладает высокой прочностью и пластичностью, высоким сопротивлением к развитию поверхностных трещин, не склонна к межкристаллитной коррозии [15, 16].

Целью данной работы являлось проведение сравнительной оценки коррозионной стойкости образцов из металлополимерного композиционного материала на основе высокопрочной стали ВНС-9-Ш и углепластика ВКУ-44 в камере солевого тумана КСТ-35 в зависимости от предварительной подготовки поверхности стальных пластин до склеивания образцов МПКМ и определение влияния продолжительности экспозиции образцов в КСТ-35 на их механические свойства.

* Большой вклад в изучение МПКМ внесли такие специалисты, как В.Н. Кириллов, В.А. Ефимов, О.В. Старцев, А.К. Шведкова и др.

Материалы и методы

В данной статье рассмотрены вопросы коррозионной стойкости и механических свойств опытных композиций образцов из МПКМ, изготовленных на основе высокопрочной стали ВНС-9-Ш и углепластика ВКУ-44.

Ускоренные коррозионные испытания образцов проводили по ГОСТ 9.308–85 в камере солевого тумана (КСТ-35) на образцах-карточках размером 100×80 мм.

Коррозионную стойкость оценивали по результатам оптико-визуального осмотра внешнего вида образцов после 1, 2 и 3 мес экспозиции в КСТ-35. Фиксировали появление продуктов коррозии и коррозионных повреждений стали ВНС-9-Ш, а также целостность клеевого соединения (образование расслоений).

По завершении коррозионных испытаний из образцов-карточек изготовлено не менее 5 параллельных образцов для механических испытаний. Механические испытания на сдвиг проводили по ГОСТ 24778–81 на электромеханической машине Zwick/Roell Z100.

Результаты и обсуждение

Проведено исследование коррозионной стойкости образцов МПКМ после 1, 2 и 3 мес испытаний в камере солевого тумана КСТ-35 (испытания при температуре 35°C с периодическим распылением 5%-ного раствора NaCl).

Экспериментальные образцы МПКМ изготовлены из углепластика ВКУ-44 и пластин холоднокатаной ленты из стали ВНС-9-Ш толщиной 0,28 мм с различной обработкой поверхности.

Поверхность коррозионностойкой стали ВНС-9-Ш перед склеиванием предварительно обрабатывали следующими способами:

- нанесением гальванических покрытий (катодное фосфатирование, никелирование);
- химической обработкой поверхности (травление в кислотном растворе);
- механической обработкой (обдувка корундовым песком, зачистка абразивной пастой).

Для химической обработки поверхности стали использовали кислотный раствор, содержащий соляную и азотную кислоты с добавлением хлорида железа, при температуре цеха. В качестве гальванических покрытий применены следующие: никелирование – толщиной 0,3–0,5 мкм; катодный фосфат – массой 11–14 г/м².

Оценку коррозионного воздействия на образцы МПКМ осуществляли по результатам оптико-визуального осмотра внешнего вида образцов (сохранение целостности образцов) и времени до образования коррозионных повреждений на поверхности стальной ленты. Результаты испытаний приведены в таблице. Внешний вид образцов после испытаний показан на рис. 1.

Результаты коррозионных испытаний свидетельствуют о том, что независимо от способа подготовки поверхности ленты из стали ВНС-9-Ш перед склейкой образцов МПКМ целостность образцов в процессе коррозионных испытаний не нарушена: расслоений МПКМ не обнаружено ни на одном образце за весь период испытаний (1, 2 и 3 мес) в КСТ-35.

Внешний вид образцов после коррозионных испытаний в камере солевого тумана КСТ-35

Вид обработки покрытия	Внешний вид образцов в зависимости от продолжительности экспозиции, мес		
	1	2	3
Кислотный раствор	Расслоения не обнаружено. На поверхности образца по краям нижнего угла – затеки продуктов коррозии стали рыжего цвета от места склейки шириной до 6 мм	Расслоения не обнаружено. Поверхность образца без видимых изменений	Расслоения не обнаружено. Поверхность образца без видимых изменений
Обдувка корундом	Расслоения не обнаружено. На поверхности образца имеются пятна продуктов коррозии стали рыжего цвета диаметром от 1 до 5 мм. Вдоль места склейки на верхней и нижней стальных пластинах имеются затеки продуктов коррозии стали рыжего цвета шириной до 10–12 мм	Расслоения не обнаружено. Поверхность верхней пластины образца без изменений. На нижней пластине ширина затеков продуктов коррозии от места склейки увеличилась до 15 мм	Расслоения не обнаружено. На нижней пластине образца появилось пятно продуктов коррозии стали рыжего цвета диаметром 10 мм, затеки от места склейки без изменений
Зачистка абразивной пастой	Расслоения не обнаружено. На поверхности образца около 10 пятен продуктов коррозии рыжего цвета диаметром от 1 до 3 мм. По краю образца от места склейки – затек продуктов коррозии рыжего цвета к нижней части образца шириной 6 мм	Расслоения не обнаружено. Поверхность образца без видимых изменений	Расслоения не обнаружено. Поверхность образца без видимых изменений
Катодное фосфатирование	Расслоения не обнаружено. На поверхности в нижнем углу образца – затек продуктов коррозии стали рыжего цвета в форме треугольника размером 28×28×35 мм	Расслоения не обнаружено. Усилилась интенсивность окраски продуктов коррозии рыжего цвета	С испытаний снят
Никелирование	Расслоения не обнаружено. На поверхности по краям образца от места склейки к нижней части – затеки продуктов коррозии покрытия и стали рыжего и зеленого цвета. В верхней части образца – радужные разводы.	Расслоения не обнаружено. Усилилась интенсивность окраски продуктов коррозии рыжего и зеленого цвета	Расслоения не обнаружено. Поверхность образца без видимых изменений

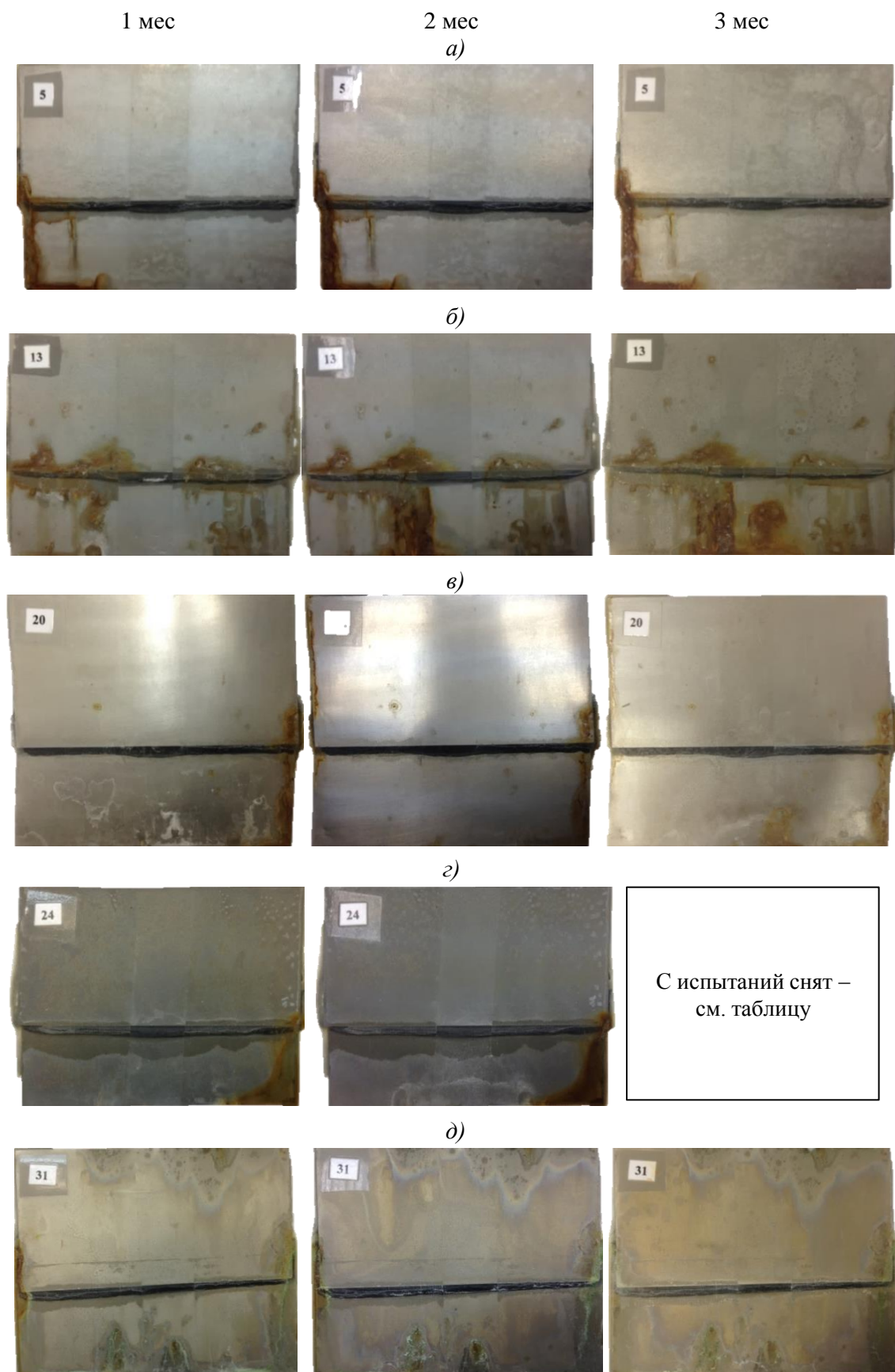


Рис. 1. Внешний вид образцов после коррозионных испытаний в камере солевого тумана КСТ-35 с предварительной обработкой поверхности стали ВНС-9-Ш в кислотном растворе (*a*), обдувкой корундом (*б*), зачисткой абразивной пастой (*в*), катодным фосфатированием (*г*) и никелированием (*д*)

Следует отметить, что в течение первого месяца испытаний на поверхности ленты из стали ВНС-9-Ш появились точки и пятна продуктов коррозии в большей степени на образцах с обдувкой корундом и с нанесенным никелевым покрытием.

По окончании коррозионных испытаний определяли прочностные характеристики МПКМ при испытании на сдвиг образцов, вырезанных из пластин. Результаты механических испытаний МПКМ на сдвиг клевого соединения представлены на рис. 2.

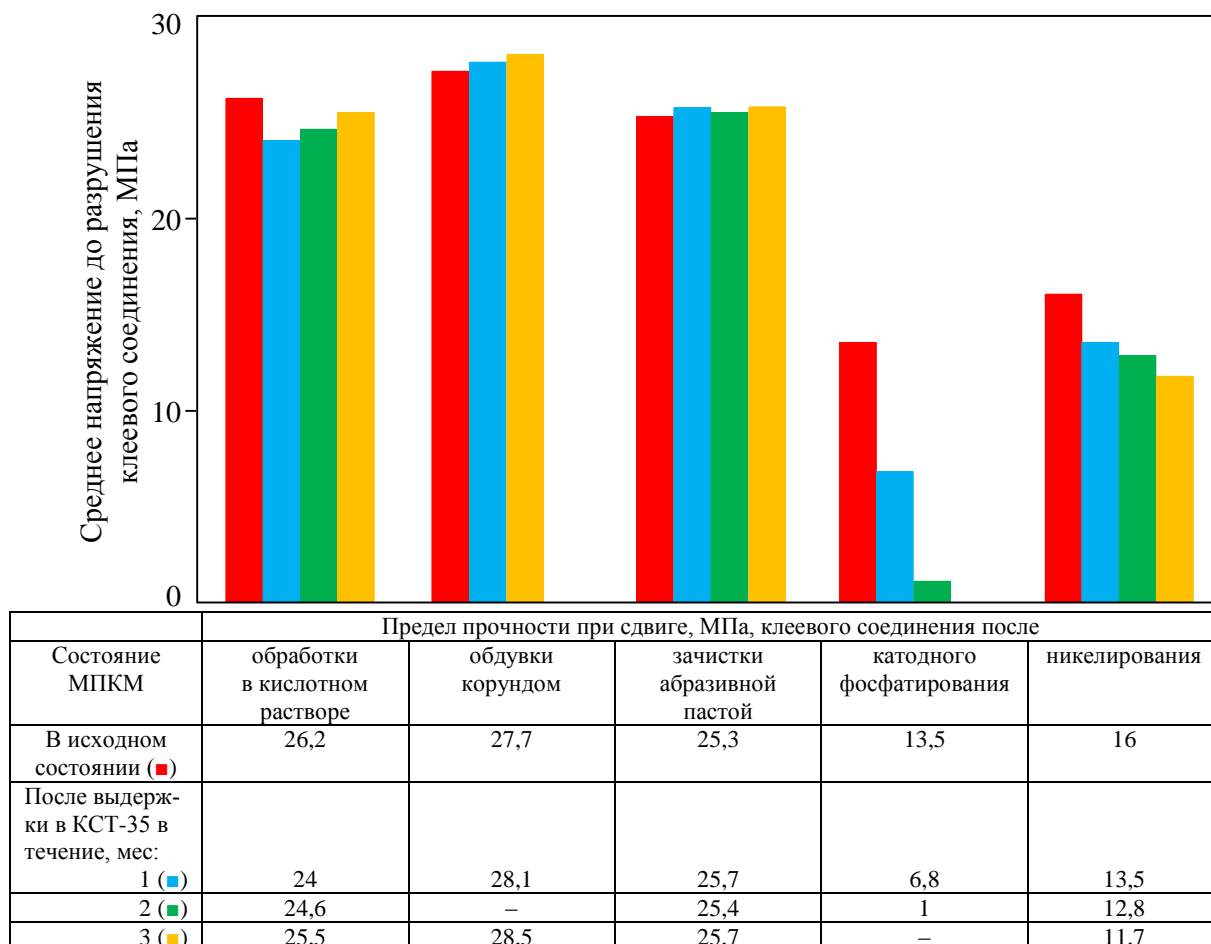


Рис. 2. Результаты механических испытаний на сдвиг образцов клевого соединения МПКМ при температуре 20°C в исходном состоянии и после экспозиции в камере солевого тумана КСТ-35

Полученные данные свидетельствуют о том, что подготовка поверхности путем обработки (травления) в кислотном растворе, абразивной пастой и обдувкой корундом обеспечивает практически одинаковые механические свойства исходных образцов МПКМ. Напряжение разрушения клевого соединения исходных образцов составляет 25–27 МПа.

Применение в качестве подготовки под склеивание МПКМ гальванических покрытий (фосфатирование и никелирование) приводит к снижению прочностных характеристик (при испытании на сдвиг) исходных образцов по сравнению с химической и абразивной обработками. Применение фосфатирования в качестве подготовки поверхности приводит к снижению напряжения разрушения клевого соединения МПКМ на ~50% по сравнению с применением травления в кислотном растворе, а никелирования – на ~40%.

После коррозионных испытаний в КСТ-35 (независимо от времени экспозиции) механические свойства образцов МПКМ с подготовкой поверхности химическим и механическими способами практически не меняются.

На образцах с катодным фосфатированием с увеличением продолжительности экспозиции наблюдается резкое падение напряжения до разрушения клеевого соединения – с 13,5 до 1 МПа, что составляет >90%. В связи с полученными данными образцы с фосфатным покрытием с дальнейшей экспозиции сняли.

На образцах с никелированием снижение напряжения до разрушения клеевого соединения уменьшается не более чем на 17% (по сравнению с исходными образцами).

Заключение

Механические свойства образцов МПКМ с химической и механической подготовкой поверхности ленты из стали ВНС-9-III практически не снижаются после экспозиции в КСТ-35 в течение 3 мес.

Применение фосфатирования и никелирования в качестве подготовки поверхности приводит не только к снижению напряжений до разрушения клеевого соединения при механических испытаниях на сдвиг исходных образцов, но и после экспозиции в КСТ-35.

Из трех использованных способов подготовки поверхности (химического и механических) наиболее перспективной является обработка ленты из стали ВНС-9-III абразивной пастой, являясь одновременно энергосберегающим способом.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГУП «ВИАМ» М.М. Григорьеву, О.А. Губенковой, Н.Н. Мамонтовой за помощь в проведении экспериментов и обсуждении результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. На перекрестке науки, образования и промышленности // Эксперт Online: деловой общенациональный аналитический ресурс. URL: <http://expert.ru/expert/2015/15/naperekrestke-nauki-obrazovaniya-i-promyishlennosti/> (дата обращения 03.12.2015).
2. 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.
3. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. №1. С. 36–39.
4. Каблов Е.Н., Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Лукина Н.Ф. Новый класс слоистых алюмокомпозитов на основе алюминий-литиевого сплава 1441 с пониженной плотностью // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. №SP2. С. 174–183.
5. Байгильдин Д.Ю. Обзор существующих современных материалов для восстановления деталей машин // Современные наукоемкие технологии. 2014. №5. С. 16–18.
6. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Барботько С.Л., Е.В. Николаев Методические особенности проведения и обработки результатов климатических испытаний полимерных композиционных материалов // Пластические массы. 2013. №1. С. 37–41.
7. Каблов Е.Н., Кириллов В.Н., Жирнов А.Д., Старцев О.В., Вапиров Ю.М. Центры для климатических испытаний авиационных ПКМ // Авиационная промышленность. 2009. №4. С. 36–46.
8. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Деев И.С., Никишин Е.Ф. Свойства полимерных композиционных материалов после воздействия открытого космоса на околоземных орбитах. Ч. 1 // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №10. С. 2–9.
9. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Деев И.С., Никишин Е.Ф. Свойства полимерных композиционных материалов после воздействия открытого космоса на околоземных орбитах. Ч. 2 // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №11. С. 2–16.

10. Кириллов В.Н., Ефимов В.А. Проблемы исследования климатической стойкости авиационных неметаллических материалов / В кн. 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007: юбилейный науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 2007. С. 379–388.
11. Кириллов В.Н., Старцев О.В., Ефимов В.А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 412–423.
12. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Матвеевкова Т.Е., Кривонос В.В., Гребнева Т.В., Болберова Е.В. Климатическая стойкость новых композиционных материалов // Авиационная промышленность. 2004. №4. С. 44–47.
13. Ефимов В.А., Шведкова А.К., Коренькова Т.Г., Кириллов В.Н. Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натуральных условиях // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №1. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.07.2015).
14. Фролов А.С., Панин С.В. Оценка параметров влагопереноса углепластика авиационного назначения на начальной стадии натурной климатической экспозиции // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. №7. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.07.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-8-8.
15. Белоус В.Я., Лощина А.О., Варламова В.Е., Никитин Я.Ю. Коррозионная стойкость и подготовка поверхности холоднокатаной ленты из стали ВНС-9-Ш для изготовления МПКМ // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. №11. Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.12.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-10-10.
16. Расщупкин В.П., Гарибян Г.С., Гурдин В.И. Композиционные материалы системы алюминиевые сплавы–сталь // Омский научный вестник. 2009. №1 (77). С. 15–16.