

Научная статья

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-9-110-121

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В СОСТАВЕ ЛАКОКРАСОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ВНЕШНИЙ ВИД И СВОЙСТВА ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

В.А. Кузнецова¹, С.А. Пономаренко¹, В.Г. Железняк¹, Е.А. Тимошина¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Изучено влияние растворителей в составе лакокрасочного материала на свойства покрытий. Для исследований выбраны лакокрасочные материалы на основе полиуретановых пленкообразователей, отверждаемых изоцианатным отвердителем. Для разбавления лакокрасочных материалов использован растворитель R-189 различных производителей. Методом газовой хромато-масс-спектрометрии определен качественный и количественный состав растворителей. Установлено, что исследованные растворители не соответствуют ТУ 6-10-1725–78. Показано значительное влияние состава растворителя на свойства покрытий.

Ключевые слова: лакокрасочные покрытия, растворители, метод газовой хромато-масс-спектрометрии, адгезия, декоративные свойства, шероховатость поверхности

Для цитирования: Кузнецова В.А., Пономаренко С.А., Железняк В.Г., Тимошина Е.А. Влияние растворителей в составе лакокрасочного материала на внешний вид и свойства лакокрасочных покрытий // Труды ВИАМ. 2023. № 9 (127). Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-9-110-121.

Scientific article

INFLUENCE OF SOLVENTS IN THE COMPOSITION OF THE PAINT AND VARNISH MATERIAL ON THE APPEARANCE AND PROPERTIES OF PAINT AND VARNISH COATINGS

V.A. Kuznetsova¹, S.A. Ponomarenko¹, V.G. Zheleznyak¹, E.A. Timoshina¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The influence of solvents in the composition of the paintwork material on the properties of coatings was studied. For research, paints and varnishes based on polyurethane film-forming agents cured with an isocyanate hardener were selected. Solvent R-189 from various manufacturers was used to dilute paints and varnishes. Using the method of gas chromatography-mass spectrometry, the qualitative and quantitative composition of the used solvents R-189 was determined. It has been established that the studied solvents from various manufacturers do not comply with TU 6-10-1725–78, and a significant effect of the composition of the R-189 solvent on the properties of the obtained coatings has also been shown.

Keywords: paint coatings, solvents, gas chromatography-mass spectrometry method, adhesion, decorative properties, surface roughness

For citation: Kuznetsova V.A., Ponomarenko S.A., Zheleznyak V.G., Timoshina E.A. Influence of solvents in the composition of the paint and varnish material on the appearance and properties of paint and varnish coatings. *Trudy VIAM*, 2023, no. 9 (127), paper no. 10. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-9-110-121.

Введение

Обеспечение надежной защиты изделий авиационной техники – важная задача современного материаловедения [1–4]. На протяжении многих лет основным средством защиты авиационной техники от воздействия внешней среды является применение лакокрасочных покрытий. Эффективность защитных покрытий зависит от правильного выбора систем лакокрасочных покрытий, подготовки поверхности с учетом конструктивной особенности детали, узла, агрегата, а также условий эксплуатации и других факторов [5–10].

Следует отметить, что защитные свойства покрытия определяются качеством применяемых лакокрасочных материалов (ЛКМ), технологией нанесения на защищаемую поверхность, условиями формирования на подложке (поверхности изделия) и др. [5–12].

Современные ЛКМ – это многокомпонентные смеси, содержащие пленкообразователи, пигменты, наполнители, модифицирующие добавки, растворители (или их смеси). Каждый из этих компонентов влияет не только на технологические свойства ЛКМ, но и на декоративные и эксплуатационные характеристики получаемых на их основе покрытий [13–15].

Пленкообразователи, как правило, представляют собой высокомолекулярные синтетические (или природные) вещества, а также их смеси. При нанесении тонким слоем из раствора или дисперсий в результате физических и химических превращений пленкообразователи вместе с другими компонентами ЛКМ формируют покрытие на подложке [16, 17].

Растворители являются своего рода переносчиками ЛКМ на окрашиваемую поверхность и способствуют образованию однородного слоя. После нанесения ЛКМ на поверхность изделия растворители должны улетучиться как можно полнее. При этом важно обеспечить приемлемую кинетику удаления растворителей, поскольку их слишком быстрое улетучивание может приводить к ухудшению розлива ЛКМ, образованию заметных пор [18, 19].

Полагают, что свойства лакокрасочного покрытия зависят только от используемых пленкообразователей, отвердителей, пигментов, наполнителей, непосредственно участвующих в формировании структуры пленки. Однако растворители имеют большее значение для процесса пленкообразования.

Химический состав растворителей влияет на их растворяющую способность и свойства ЛКМ. Полимерные пленкообразователи могут формировать истинные растворы, если энергии взаимодействия между молекулами растворителя и фрагментами цепей макромолекул практически равны, что обычно коррелирует с полярностью молекул.

«Хорошим» для конкретного пленкообразователя считается такой растворитель, с которым этот полимер образует гомогенную систему во всех областях концентраций и возможно более широком диапазоне температур; «плохим» – образующий истинный раствор только в определенной области концентраций и температур. В последнем случае при изменении концентраций или температуры раствора возможно выделение растворенного вещества, например помутнение или расслоение системы на отдельные фазы. Среди реальных растворов полимеров существует множество ограниченно совместимых систем, при изменении условий хранения (температуры, концентрации) которых происходит расслоение на две фазы [20–22].

К разбавителям относят соединения, которые не растворяют пленкообразователь и сочетаются с растворителем, не ухудшая свойств ЛКМ и покрытия на его основе (не приводят к расслоению полимерной системы). Следует отметить, что один и тот же растворитель может выполнять функции растворителя и разбавителя в зависимости

от химической природы полимерного пленкообразователя. На практике для приготовления раствора пленкообразователей часто используют смеси растворителей, содержащие разбавитель.

При выборе растворителя для приготовления ЛКМ следует учитывать его растворяющую способность, температуру кипения, токсичность и другие свойства. При составлении смеси растворителей также необходимо обращать внимание на их способность к разбавлению ЛКМ. Введение в ЛКМ разбавителя не должно приводить к выделению пленкообразователя или гелеобразованию [23–27].

Цель данной работы – изучение влияния состава растворителя, выпускаемого различными производителями, на качество получаемых лакокрасочных покрытий.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в рамках реализации комплексного научного направления 17. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия» комплексной научной проблемы 17.7. «Лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [28].

Материалы и методы

Для исследований выбраны ЛКМ на основе полиуретановых пленкообразователей, отверждаемых изоцианатным отвердителем. Для разбавления ЛКМ использован смесевой растворитель Р-189 различных производителей (образцы 1–4).

В данной работе применяли хроматографический метод, к преимуществам которого относят высокую эффективность разделения компонентов и чувствительность их детектирования. Некоторые детекторы, например масс-спектрометрический, позволяют с достаточной степенью надежности идентифицировать структуры неизвестных компонентов (идентификация проводится как по времени удерживания, так и по масс-спектрам соединений).

Метод газовой хромато-масс-спектрометрии используют для анализа химического состава многих объектов, в том числе растворителей ЛКМ. Применение метода для количественного анализа ЛКМ ограничено образцами с общим содержанием растворителей не более 15 %, что во многом обусловлено отсутствием эталонных образцов и относительно высокой погрешностью из-за различий в чувствительности детектирования компонентов [29, 30]. Количественный анализ образцов ЛКМ с более высоким содержанием растворителей или растворителей ЛКМ проблем не вызывает, но из-за вышеуказанных причин носит преимущественно оценочный характер.

Образцы растворителя Р-189 анализировали методом газовой хромато-масс-спектрометрии путем прямого ввода в газовый хромато-масс-спектрометр GCMS-QP2010S (фирма Shimadzu, Япония) при подобранных условиях в соответствии с методикой на основе ГОСТ 31991.2–2012.

После нанесения лакокрасочных полиуретановых покрытий при разбавлении эмалей до рабочей вязкости серийно выпускаемым растворителем Р-189 определяли декоративные свойства (внешний вид, шероховатость, блеск) и адгезию покрытий. Шероховатость поверхности определяли по ГОСТ 2789–73, блеск – по ГОСТ 31975–2017 под углом 60 градусов, адгезию – по ГОСТ 15140–78 в исходном состоянии и после 7 сут увлажнения.

Результаты и обсуждение

В качестве объектов исследований выбраны полиуретановые эмали с различными декоративными свойствами (матовые и глянцевые), которые наносили на образцы

из сплава Д16-АТ (Ан.Окс.нхр) методом пневматического распыления в соответствии с нормативной документацией. Полиуретановые покрытия наносили по эпоксидной грунтовке, модифицированной полисульфидным каучуком. Толщина покрытия составляла 75–90 мкм. Исследования проводили после 5 сут выдержки образцов при комнатной температуре.

На рис. 1 приведена хроматограмма образца 1 растворителя Р-189.

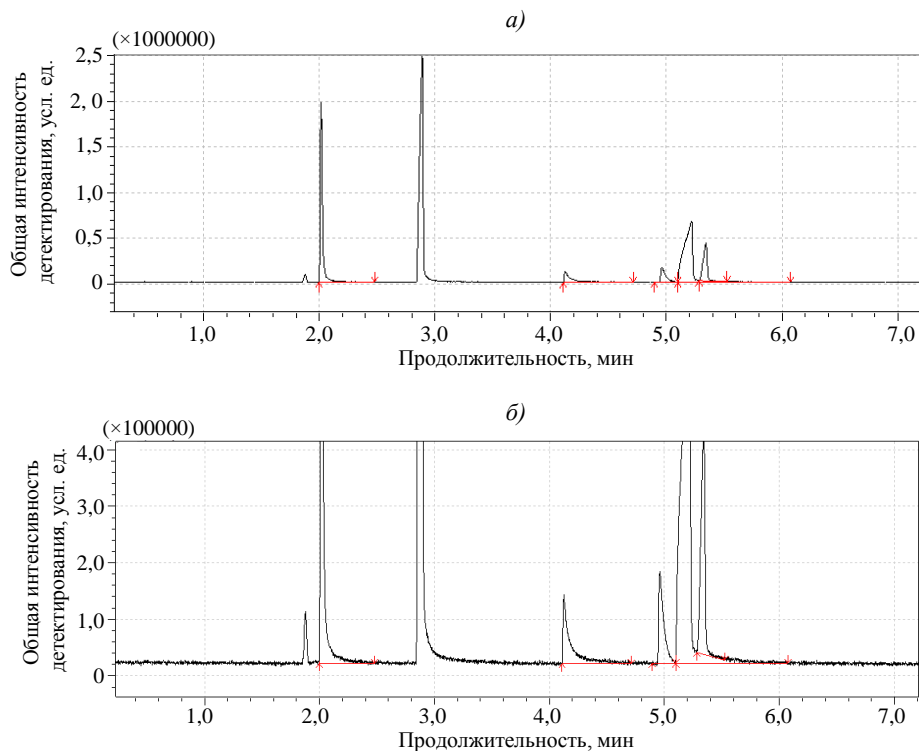


Рис. 1. Хроматограмма образца 1 в обычном (а) и увеличенном (б) масштабах

Образец 1 анализировали с использованием колонки DB-1MS (30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм) фирмы Agilent Technologies в градиентном температурном режиме: выдержка при температуре 40 °С в течение 2 мин + нагрев со скоростью 10 °С/мин до температуры 100 °С. Детектирование проводили в сканирующем режиме $m/z = 12-350$ Да. Идентификация компонентов (выбор наиболее подходящего аналога с использованием библиотеки масс-спектров NIST 05 с точностью до изомеров): ~2,1 мин – ацетон; ~2,9 мин – диоксан (использовали для промывки микрошприца перед отбором анализируемой пробы образца); ~4,2 мин – бутилацетат; ~5,0 мин – метиловый эфир пропиленгликоляцетата; ~5,2 мин – циклогексанон и ~5,3 мин – ксилол.

Образец 1 включает: ~(25–35) % ацетона, ~(30–50) % циклогексанона, ~(10–20) % ксилола. В образце также обнаружено по 5–10 % бутилацетата и метилового эфира пропиленгликоляцетата (CAS 108-65-6). Содержание компонентов для этого и последующих образцов оценивали путем внутренней нормализации по доле площади их пиков среди летучих компонентов (очень грубая оценка). Результаты качественного анализа образца 1 не соответствуют составу растворителя Р-189 по ТУ 6-10-1725-78, который представляет собой смесь метилэтилкетона (37 %), бутилацетата (13 %), этиленгликоляцетата (37 %) и ксилола (13 %).

На рис. 2 приведены хроматограммы образцов 2–4 растворителя Р-189.

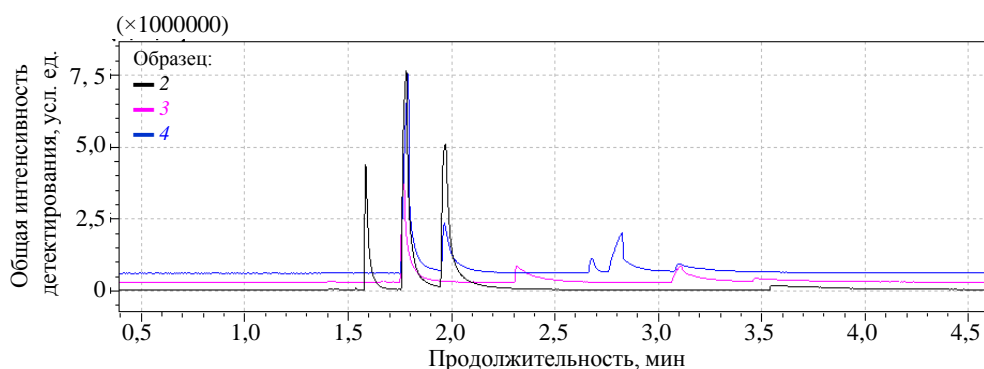


Рис. 2. Хроматограммы образцов 2–4 растворителя Р-189

Образцы 2–4 анализировали с использованием колонки Optima 1 (30 м × 0,25 мм × 0,10 мкм) фирмы Macherey-Nagel при температуре 40 °С. Детектирование проводили в сканирующем режиме $m/z = 12-350$ Да. Идентификация компонентов (выбор наиболее подходящего аналога с использованием библиотеки масс-спектров NIST 05 с точностью до изомеров): ~1,6 мин – этилацетат; ~1,8 мин – диоксан (использовали для промывки микрошприца перед отбором анализируемой пробы образца); ~2,0 мин – толуол; ~2,3 мин – бутилацетат; ~2,7, ~2,8 и ~3,1 мин – изомеры ксилола; ~3,6 мин – циклогексанон.

Образец 2 включает: ~(15–25) % этилацетата, ~(50–70) % толуол, ~(15–25) % циклогексанона. В образце 2 также присутствует ~(0,2–0,3) % метилацетата. Образец 3 содержит: ~(25–35) % бутилацетата (или изобутилацетата), ~(45–65) % ксилола (зафиксирован один пик), ~(10–18) % циклогексанона. Обнаружены примеси толуола (<0,1 %), а также некоторых углеводородов – суммарно до 1–2 %. Образец 4 включает: ~(25–35) % толуола, ~(60–75) % ксилола (зафиксированы три пика, соответствующие изомерам ксилола и/или этилбензолу). Присутствуют также примесные компоненты – суммарно до ~0,2 %.

В табл. 1 приведен качественный и оценочный количественный состав исследуемых образцов.

Таблица 1

Состав образцов растворителя Р-189 серийного производства

Компонент	Содержание компонента в образце и по ТУ, %				Норма по ТУ 6-10-1725-78
	1	2	3	4	
Ацетон	25–35	Н/о	Н/о	Н/о	–
Метилэтилкетон	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	37
Бутилацетат	5–10	Н/о	25–35	Н/о	13
Этиленгликольацетат	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	37
Ксилол	10–20	Н/о	45–65	60–75	13
Толуол	Н/о	50–70	Н/о	25–35	–
Этилацетат	Н/о	15–25	Н/о	Н/о	–
Циклогексанон	30–50	15–25	10–18	Н/о	–
Примеси	5–10 % метилового эфира пропиленгликольацетата	~(0,2–0,3) % метилацетата	1–2 % толуола, углеводородов	Суммарно до ~0,2 % примесных компонентов	–

Примечание. Н/о – компонент не обнаружен (отсутствует в составе образца растворителя или его пик на хроматограмме перекрывается с пиками других компонентов) или его содержание незначительно.

Все образцы растворителя Р-189, полученные от различных производителей, по качественному и количественному составу не соответствуют ТУ 6-10-1725–78.

Фотографии лакокрасочных покрытий, нанесенных с использованием исследуемых образцов растворителя, представлены на рис. 3, с использованием растворителя Р-189, соответствующего ТУ 6-10-1725–78, – на рис. 4.

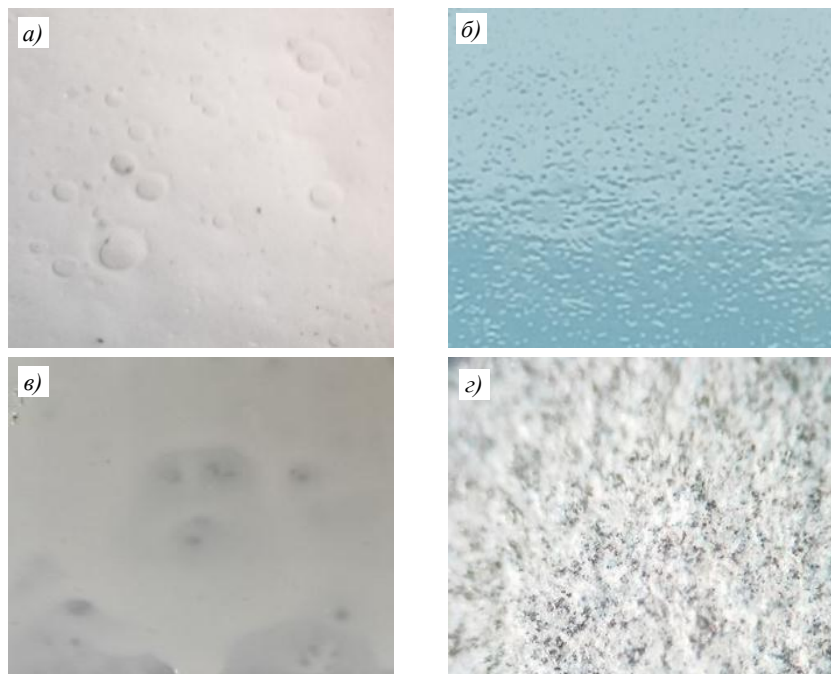


Рис. 3. Внешний вид полиуретанового матового покрытия при использовании растворителя Р-189 для образцов 1 (а), 2 (б), 3 (в) и 4 (з)

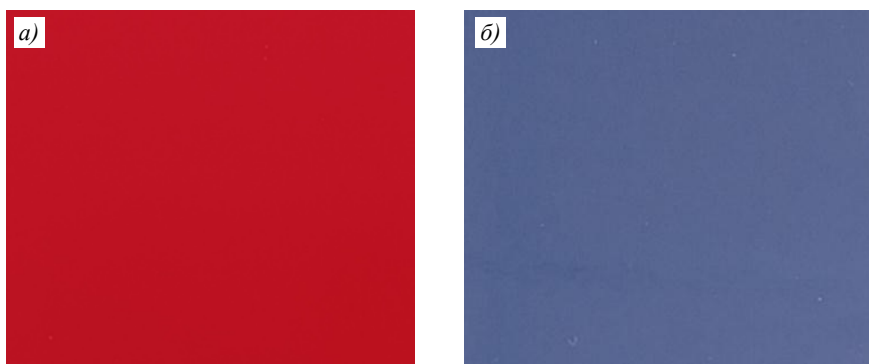


Рис. 4. Внешний вид полиуретанового глянцевого (а) и матового (б) покрытия при использовании растворителя Р-189, соответствующего ТУ 6-10-1725–78

На покрытиях, полученных с использованием растворителя Р-189, не соответствующего ТУ 6-10-1725–78, видны дефекты в виде сорности (рис. 3, б), шагрени (рис. 3), образование кратеров (рис. 3, а), неравномерности нанесенного слоя эмали на поверхности (рис. 3, в), а также дефекты покрытия, связанные с возможным фазовым расслоением пленкообразователя (рис. 3, з). При использовании растворителя, отвечающего требованиям ТУ 6-10-1725–78, вышеуказанные дефекты не обнаружены (рис. 4).

В табл. 2 приведены декоративные свойства двухслойного полиуретанового покрытия с использованием исследуемых образцов растворителя Р-189 при разбавлении эмалей до рабочей вязкости.

Декоративные свойства полиуретановых покрытий при разбавлении растворителем Р-189

Покрытие с использованием образца растворителя	Внешний вид	Шероховатость (R_a)*	Блеск, условные единицы блеска*
Глянцевое покрытие			
1	Неровное покрытие с кратерами по всей поверхности	1,250	70,3
2	Сорность по всей поверхности	1,346	67,8
3	Шагрень	1,316	68,2
4	Неравномерность цвета, шагрень	1,258	66,4
Соответствующий ТУ 6-10-1725-78	Ровное глянцевое покрытие без посторонних включений	0,742	81,6
Матовое покрытие			
1	Неровное покрытие с кратерами по всей поверхности	2,181	3,5
2	Сорность по всей поверхности	2,191	3,2
3	Ровное шероховатое покрытие	1,572	4,4
4	Сорность по всей поверхности	2,206	3,7
Соответствующий ТУ 6-10-1725-78	Ровное матовое покрытие без посторонних включений	0,982	4,5
* Приведены средние значения трех измерений.			

Из полученных результатов следует, что состав растворителя Р-189 влияет на декоративные свойства как глянцевых, так и матовых полиуретановых покрытий. Покрытия, полученные с использованием растворителей серийного производства и соответствующего ТУ 6-10-1725-78, существенно различаются по внешнему виду, шероховатости и блеску. Следует отметить, что наиболее существенное повышение шероховатости поверхности наблюдается на матовых покрытиях, при этом шероховатость увеличивается в 1,5–2,2 раза.

Для глянцевых покрытий применение некачественного растворителя привело к увеличению шероховатости в $\sim(1,5-2)$ раза, а также к снижению блеска на 14–18 %.

Сопоставление показателей шероховатости покрытий и химического состава используемых для их получения растворителей позволяет заключить, что:

- на фотографии покрытия, полученного с использованием образца 4, заметны следы фазового расслоения, что может быть обусловлено высоким содержанием ароматических соединений в растворителе, предположительно плохо растворяющих молекулы полимерной основы лакокрасочного покрытия;

- образование кратеров на поверхности покрытия с образцом 1 после сушки может быть обусловлено присутствием в его составе легкокипящего компонента – ацетона (температура кипения 56 °С), интенсивно удаляющегося в начале процесса сушки;

- отсутствие явных дефектов на поверхности покрытия при использовании образца 3 может быть обусловлено присутствием в его составе высококипящих полярных компонентов. При этом высокое содержание ксилола, предположительно, заметно улучшает розлив эмали после нанесения на поверхность, что улучшает внешний вид покрытия.

Качество растворителя также влияет на эксплуатационные свойства покрытий. В табл. 3 приведены результаты определения адгезии полиуретановых покрытий в исходном состоянии и после 7 сут экспозиции в дистиллированной воде.

Таблица 3

Адгезия полиуретановых покрытий при разбавлении растворителем Р-189
(средние значения по результатам пяти измерений)

Покрытие с использованием образца растворителя	Адгезия, балл		Внешний вид после испытаний
	в исходном состоянии	после испытаний	
Глянцевое покрытие			
1	1	3	Сыпь по всей поверхности
2	1	2	Сыпь на 50 % поверхности
3	1	3	Сыпь по всей поверхности
4	2	3	Сыпь и вздутия по всей поверхности
Соответствующий ТУ 6-10-1725–78	1	1	Без изменений
Матовое покрытие			
1	1	2	Сыпь на 45 % поверхности
2	1	2	Сыпь на 55 % поверхности
3	1	2	Сыпь на 60 % поверхности
4	2	3	Сыпь и вздутия по всей поверхности
Соответствующий ТУ 6-10-1725–78	1	1	Без изменений

После 7 сут увлажнения адгезия полиуретановых покрытий, полученных с применением некачественных растворителей, снижается до 2–3 баллов; с использованием растворителя Р-189, соответствующего ТУ 6-10-1725–78, – сохраняется на исходном уровне (1 балл). На всех полиуретановых покрытиях, полученных с применением некачественных растворителей, наблюдаются существенное изменение внешнего вида, появление сыпи и вздутий, которые являются следствием ослабления адгезии в результате сорбционных процессов, протекающих при диффузии молекул воды. Таким образом, причиной ослабления адгезии, а также возникновения сыпи и вздутий является присутствие воды на границе раздела «металл–покрытие».

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

– качество растворителей в составе ЛКМ влияет на качество полиуретановых лакокрасочных покрытий. Это связано с тем, что изменение состава смесевых растворителей может изменять пределы растворимости пленкообразователя, в частности нижний предел, по достижении которого раствор мутнеет. При хранении такого раствора происходит фазовое расслоение, приводящее к образованию дефектов в виде шагрени, неровности покрытия с кратерами по всей поверхности;

– использование компонента смесевых растворителей, образующего истинный раствор только в определенной области концентраций и температур, может привести к расслоению полимерного пленкообразователя ЛКМ на отдельные фазы в случае изменения концентраций или температуры раствора, в результате чего возможно образование гелей.

Таким образом, при неправильном подборе растворителей лакокрасочное покрытие формируется с различными дефектами. К дефектам, зависящим от состава растворителя, относятся плохой розлив ЛКМ, образование на поверхности сорности, оспин и мелких кратеров.

Для лакокрасочных покрытий сорность обусловлена наличием гелеобразных частиц в полимерном пленкообразователе, которые представляют собой мягкие микрочастицы, проходящие через большинство фильтрующих материалов. При хранении ЛКМ микрогели собираются в агломераты и при высыхании покрытия в процессе удаления растворителя выступают на поверхности в виде сорности.

Заключения

Результаты анализа химического состава образцов растворителя Р-189 методом газовой хромато-масс-спектрометрии показали их несоответствие нормам ТУ 6-10-1725–78. Использование таких растворителей для разбавления эмалей до рабочей вязкости значительно снижает декоративные характеристики (блеск и шероховатость) как глянцевых, так и матовых полиуретановых покрытий. На покрытиях, полученных с применением некачественных растворителей Р-189, имеются различные дефекты в виде сорности, шагрени, оспин и неровностей. Максимальное увеличение шероховатости поверхности (в 1,5–2,2 раза) наблюдается на матовых покрытиях. Для глянцевых покрытий применение некачественного растворителя приводит к увеличению шероховатости в ~ (1,5–2) раза, а также к снижению блеска на 14–18 %. После 7 сут увлажнения зафиксированы уменьшение адгезии и изменение внешнего вида покрытий (появление сыпи и вздутий на поверхности).

Для обеспечения надежной защиты материалов необходимо использовать не только качественные ЛКМ для нанесения покрытий, но и соответствующие растворители.

Список источников

1. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов. М. Машиностроение, 1991. 400 с.
2. Каблов Е.Н., Кутырев А.Е., Вдовин А.И., Козлов И.А., Афанасьев-Ходыкин А.Н. Исследование возможности возникновения контактной коррозии в паяных соединениях, используемых в конструкции двигателей авиационной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 4 (65). Ст. 01. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 10.04.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-3-13.
3. Бузник В.М., Каблов Е.Н. Материалы для освоения Арктики и холодных территорий // Тез. докл. XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: в 6 т. СПб., 2019. Т. 4. С. 21.
4. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // *Вестник Российской академии наук*. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
5. Денкер И.И., Владимирский В.Н. Технология окраски самолетов и вертолетов гражданской авиации. М.: Машиностроение, 1988. 124 с.
6. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // *Вестник Российской академии наук*. 2012. Т. 82. № 6. С. 520–530.
7. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докл. XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
8. Розенфельд И.Л., Рутинштейн Ф.И., Жигалова К.А. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями. М.: Химия, 1987. 224 с.
9. Чеботаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. М.: Машиностроение, 1978. 295 с.
10. Железняк В.Г. Современные лакокрасочные материалы для применения в изделиях авиационной техники // *Труды ВИАМ*. 2019. № 5 (77). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.04.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
11. Проблемы защитных ЛКМ. Обзор материалов европейской конференции «Защитные покрытия» (Protective coating), Дюссельдорф // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2013. № 9. С. 33–35.
12. Коврижкина Н.А., Кузнецова В.А., Силаева А.А., Марченко С.А. Способы улучшения свойств лакокрасочных покрытий с помощью введения различных наполнителей (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 4 (57). С. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
13. Меркулова Ю.И., Кузнецова В.А., Кодаченко Е.Н., Железняк В.Г. Исследование влияния химической природы грунтовочного слоя на свойства системы покрытий на основе фторполиуретановой эмали // *Авиационные материалы и технологии*. 2022. № 1 (66). Ст. 09. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 04.04.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.

14. Сердцелюбова А.С., Меркулова Ю.И., Загора А.Г., Куршев Е.В. Исследование параметров отверждения и защитной способности системы покрытия типа «база/лак» для окраски внешней поверхности авиационной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2023. № 1 (70). Ст. 07. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 17.05.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-1-93-104.
15. Меркулова Ю.И., Куршев Е.В., Вдовин А.И., Андреева Н.П. Микроструктурные и электрохимические исследования лакокрасочных покрытий в условиях натуральных климатических испытаний тропического климата Северной Америки // *Авиационные материалы и технологии*. 2022. № 2 (67). Ст. 11. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 05.04.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-2-120-130.
16. Сырье и полупродукты для лакокрасочных материалов: справ. пособие / под ред. М.М. Гольдберга. М.: Химия, 1978. 510 с.
17. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: учеб. для вузов. СПб.: Химиздат, 2010. 448 с.
18. Охрименко И.С., Верхованцев В.В. Химия и технология пленкообразующих веществ. Л.: Химия, 1978. 392 с.
19. Сорокин М.Ф., Кочнова З.А., Шодэ Л.Г. Химия и технология пленкообразующих веществ. М.: Химия, 1989. 477 с.
20. Гольдберг М.М. Материалы для лакокрасочных покрытий. М.: Химия, 1972. 343 с.
21. Орлова О.В., Фомичева Т.Н., Окуничков А.З., Курский Г.Р. Технология лаков и красок. М.: Химия, 1980. 392 с.
22. Денкер И.И., Вольберг В.В. Технология окраски изделий в машиностроении. М.: Высшая школа, 1990. 303 с.
23. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М.: Химия, 1968. 536 с.
24. Чалых А.Е. Диффузия в полимерных системах. М.: Химия, 1987. 312 с.
25. Лакокрасочные покрытия в машиностроении: справочник / под ред. М.М. Гольдберга. М.: Машиностроение, 1974. 576 с.
26. Зубов П.М., Сухарева Л.А. Структура и свойства полимерных покрытий. М.: Химия, 1982. 256 с.
27. Брок Т., Гротеклаус М., Мишке П. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / под ред. Л.Н. Машляковского. М.: Пейнт-Медиа, 2004. 548 с.
28. 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.
29. Основы аналитической химии / под ред. Ю.А. Золотова. М.: Высшая школа, 2004. Т. 1. 360 с.
30. Пономаренко С.А., Шимкин А.А. Хроматографические методы анализа: возможности применения в авиационной промышленности // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2017. № 83 (4). С. 5–13.

References

1. Zhitomirsky G.I. *Aircraft design*. Moscow: Mashinostroenie, 1991, 400 p.
2. Kablov E.N., Kuttyrev A.E., Vdovin A.I., Kozlov I.A., Afanasyev-Khodykin A.N. The research of possibility of galvanic corrosion in brazed connections used in aviation engine construction. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 4 (65), paper no. 01. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 10, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-3-13.
3. Buznik V.M., Kablov E.N. Materials for the development of the Arctic and cold territories. *Reports XXI Mendeleevsky Congress for General and Applied Chemistry*: in 6 vols. St. Petersburg, 2019, vol. 4, p. 21.
4. Kablov E.N. New generation materials and digital technologies for their processing. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334.

5. Denker I.I., Vladimir V.N. *Technology for the coloring of aircraft and helicopters of civil aviation*. Moscow: Mashinostroenie, 1988, 124 p.
6. Kablov E.N. Materials and chemical technologies for aviation technology. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 82, no. 6, pp. 520–530.
7. Kablov E.N. The role of chemistry in the creation of materials of the new generation for complex technical systems. *Reports XX Mendeleevsky Congress for General and Applied Chemistry*. Ekaterinburg: SB of RAS, 2016, pp. 25–26.
8. Rosenfeld I.L., Rutinstein F.I., Zhigalova K.A. *Protection of metals from corrosion with paint coatings*. Moscow: Khimiya, 1987, 224 p.
9. Chebotarevsky V.V., Kondrashov E.K. *Technology of paintwork in mechanical engineering*. Moscow: Mashinostroenie, 1978, 295 p.
10. Zheleznyak V.G. Modern paint and varnish materials for use in aviation equipment products. *Trudy VIAM*, 2019, no. 5 (77), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru>. (accessed: April 17, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
11. Problems of protective LKM. Review of the materials of the European Conference "Protective Coating" (Protective Coating), Dusseldorf. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 2013, no. 9, pp. 33–35.
12. Kovrizhkina N.A., Kuznetsova V.A., Silaeva A.A., Marchenko S.A. Ways to improve the properties of paint coatings by adding different fillers (review). *Aviacionnyye materialy i tehnologii*, 2019, no. 4 (57), pp. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
13. Merkulova Yu.I., Kuznetsova V.A., Kodachenko E.N., Zheleznyak V.G. Study of the influence of the primer layer's chemical nature on the properties of the coating system based on fluoropolyurethane enamel. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 09. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 04, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
14. Serdtselyubova A.S., Merkulova Yu.I., Zagora A.G., Kurshev E.V. Research of film-forming parameters and protective properties of basecoat/clearcoat system. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 1 (70), paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: May 17, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-93-104.
15. Merkulova Yu.I., Kurshev E.V., Vdovin A.I., Andreeva N.P. Microstructural and electrochemical studies of paint coatings under natural climate tests of tropical climate of North America. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 2 (67), paper no. 11. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 05, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-2-120-130.
16. *Raw materials and semi-products for paint and varnishes: reference*. Ed. M.M. Goldberg. Moscow: Khimiya, 1978, 510 p.
17. Yakovlev A.D. *Chemistry and technology of paintwork: textbook for universities*. St. Petersburg: Khimiya, 2010, 448 p.
18. Okhrimenko I.S., Verkholatsev V.V. *Chemistry and technology of film-forming substances*. Leningrad: Khimiya, 1978, 392 p.
19. Sorokin M.F., Kochnova Z.A., Shode L.G. *Chemistry and technology of film-forming substances*. Moscow: Khimiya, 1989, 477 p.
20. Goldberg M.M. *Materials for paintwork*. Moscow: Khimiya, 1972, 343 p.
21. Orlova O.V., Fomicheva T.N., Okunchikov A.Z., Kursk G.R. *Technology of varnishes and colors*. Moscow: Khimiya, 1980, 392 p.
22. Denker I.I., Volberg V.V. *Technology for painting products in mechanical engineering*. Moscow: Vysshaya Shola, 1990, 303 p.
23. Tag A.A. *Physico-chemistry of polymers*. Moscow: Khimiya, 1968, 536 p.
24. Chalyh A.E. *Diffusion in polymer systems*. Moscow: Khimiya, 1987, 312 p.
25. *Varnish and paint coatings in mechanical engineering: reference*. Ed. M.M. Goldberg. Moscow: Mashinostroenie, 1974, 576 p.
26. Zubov P.M., Sukhareva L.A. *The structure and properties of polymer coatings*. Moscow: Khimiya, 1982, 256 p.

27. Brock T., Groteklaus M., Mishka P. *European leadership for paint and varnishes and coatings*. Ed. L.N. Mashlyakovsky. Moscow: Paint-Media, 2004, 548 p.
28. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
29. *Fundamentals of analytical chemistry*. Ed. Yu.A. Zolotov. Moscow: Vysshaya Shola, 2004, vol. 1, 360 p.
30. Ponomarenko S.A., Shimkin A.A. Chromatographic methods of analysis: the possibilities of application in the aviation industry. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2017, no. 83 (4), pp. 5–13.

Информация об авторах

Кузнецова Вера Аркадьевна, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Пономаренко Сергей Александрович, старший научный сотрудник, к.х.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Железняк Вячеслав Геннадьевич, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Тимошина Екатерина Александровна, техник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Vera A. Kuznetsova, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Sergey A. Ponomarenko, Senior Researcher, Candidate of Sciences (Chem.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Vyacheslav G. Zheleznyak, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Ekaterina A. Timoshina, Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 18.07.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 19.07.2023.
The article was submitted 18.07.2023; approved and accepted for publication after reviewing 19.07.2023.