

УДК 678.026

*В.А. Кузнецова<sup>1</sup>, Г.Г. Шаповалов<sup>1</sup>, С.А. Марченко<sup>1</sup>,  
Н.А. Коврижкина<sup>1</sup>, А.А. Силаева<sup>2</sup>*

**МАТОВЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДВУХФАЗНОЙ  
ЭПОКСИДНО-АКРИЛОВОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ОКРАСКИ  
ЭЛЕМЕНТОВ КАБИНЫ ПИЛОТОВ И ПАНЕЛЕЙ ПРИБОРОВ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-12-87-95

*Исследовано влияние содержания наполнителя на адгезию, физико-механические свойства, а также блеск покрытий, полученных на основе эпоксидно-акрилового пленкообразующего, отверждаемого кремнийорганическим амином и низкомолекулярным полиамидом в исходном состоянии и после искусственного старения по циклу ЛИ-14 (-60↔+100 °С). Исследована твердость и стойкость к царапанию систем покрытий на основе разработанных матовых эмалей, которые в сравнении с серийной системой на основе грунтовки АК-070 и матовой эмали ХС-5245 показали наилучшие результаты.*

**Ключевые слова:** эпоксидно-акриловая полимерная матрица, наполнитель, матовое покрытие, адгезия, эластичность, твердость и блеск покрытия.

*V.A. Kuznetsova<sup>1</sup>, G.G. Shapovalov<sup>1</sup>, S.A. Marchenko<sup>1</sup>,  
N.A. Kovrizhkina<sup>1</sup>, A.A. Silaeva<sup>2</sup>*

**PAINT COATINGS ON THE BASIS OF EPOXY AND ACRYLIC  
DIPHASIC POLYMERIC SYSTEM FOR COLORING  
OF ELEMENTS OF CABIN OF PILOTS AND DASHBOARDS**

*Influence of the maintenance of filler on adhesion, physicomechanical properties, and also shine of the coverings received on the basis of epoxy and acrylic of film-forming, cured by organic silicon ammine and low-molecular polyamide in initial condition and after artificial aging on the cycle LI-14 (-60↔+100) is investigated by °C. Hardness and scratch resistance of systems of coverings on the basis of the developed opaque enamels which in comparison with serial system on the basis of first coat AK-070 and opaque HS-5245 enamel have shown the best results is investigated.*

**Keywords:** epoxy and acrylic polymeric matrix, filler, matte coating, adhesion, elasticity, hardness and shine of covering.

<sup>1</sup>Федеральное 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

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева» [Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia»]; e-mail: pochta@muctr.ru

**Введение**

Развитие авиационной техники на современном этапе предьявляет особые требования к качеству и внешнему виду лакокрасочных покрытий, применяемых для защиты и декоративной отделки элементов кабины и панелей приборов [1, 2].

Известно, что к покрытиям, используемым для окраски кабины пилотов, а также к бортовому оборудованию (в том числе к светопроводам), размещенному в кабине, предьявляются особые требования: цвет покрытия должен обеспечивать высокий

уровень как зрительной, так и общей работоспособности пилота, как при естественном, так и при искусственном освещении. На лицевых панелях самолетов и вертолетов расположены показывающие части (циферблаты, шкалы и др.) приборов. В светлое время суток приборы освещаются дневным светом и в глаза попадают лучи, отраженные от поверхностей шкал и циферблатов; в ночное время приборы освещаются заливающим светом, в этом случае в глаза попадает свет, отраженный от покрытия, а также прошедший через светопровод.

Наиболее полно удовлетворяющими этим требованиям являются цвета средней части спектра и малой насыщенности. К ним относятся холодные цвета: зеленый, серо-голубой, темно-серый и др. Для исключения бликов от источников внешнего освещения все эмали должны быть матовыми. В связи с этим разработан ОСТ1 02545–85 «Кабины экипажа самолетов и вертолетов», в котором изложены требования к цвету внутренних поверхностей.

Существуют различные способы получения матовых покрытий, которые основаны на создании в них микронеоднородностей с целью увеличения диффузного отражения. Простейшим способом является изменение объемной концентрации пигментов, однако при этом могут ухудшаться физико-механические и химические свойства покрытий [3, 4].

Наличие структурных образований в пленках, полученных из растворов полимеров в термодинамически плохо совместимых растворителях, также вызывает сильное рассеяние и, следовательно, снижает блеск покрытий [5–7].

Другим широко распространенным приемом получения матовых покрытий является введение матирующих добавок [8, 9]. Существуют матирующие добавки, которые могут всплывать на поверхности образующейся пленки (например, стеараты металлов), а также наполняющие добавки, равномерно распределенные в пленке покрытия – например, различные модификации кремневой кислоты, кремнеземы и др. [10].

Одним из способов получения матовых покрытий является создание в покрытии микропустот, соизмеримых с длиной волны падающего света, что приводит к увеличению диффузного рассеяния и придает лакокрасочной пленке матовость. Для получения матовых покрытий можно использовать различные технологические приемы – например, способ микрорасслоения полимерного раствора с образованием ячеистой конденсационной структуры [11].

Применение различных наполнителей, снижающих блеск покрытия, может приводить к снижению его эксплуатационных свойств, в том числе влагостойкости и ухудшению защитных свойств покрытия. Поэтому для достижения необходимых оптических и декоративных свойств следует выбирать полимерное пленкообразующее, позволяющее получать матовое покрытие при относительно невысоком содержании наполнения, при котором сохраняется достаточно высокий уровень адгезионной прочности и эластичности, а также твердости лакокрасочной пленки.

При отверждении указанной полимерной композиции отвердителем образуется двухфазная полимерная система «сетка в сетке». При формировании такой двухфазной полимерной системы каждая фаза характеризуется своим значением показателя преломления, которые отличаются друг от друга. В результате образуется «мутная» полимерная среда, в которой при прохождении света значительная доля светового потока рассеивается диффузно на микронеоднородностях в объеме пленки покрытия. Поскольку полимерная матрица представляет собой «мутную» среду, заданное значение блеска может быть получено при меньшем содержании наполнителей, причем отпадает необходимость применения матирующих добавок (например, таких как аэросил). Наличие матирующих добавок в составе лакокрасочного покрытия, имеющих высокоразвитую поверхность, может привести к снижению эластичности и повышению жесткости покрытия, что в конечном итоге сказывается на служебных свойствах покрытия [12].

Введение наполнителя в двухфазную полимерную систему может отразиться на свойствах отвержденных покрытий. Применение в предлагаемом составе наполнителя волокнистой (игольчатой) или пластинчатой формы, таких как природные или искусственные силикаты магния, алюминия или кальция, повышает физико-механические свойства, твердость, устойчивость к царапанию (снижение повреждаемости), водостойкость покрытия, а также его устойчивость к резкому перепаду температур [13].

Предлагаемая работа посвящена изучению свойств декоративных матовых лакокрасочных покрытий, полученных с применением эпоксидно-акрилового пленкообразующего, отверждаемого отвердителем аминного типа.

Работа выполнена 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») [14–16].

### Материалы и методы

Для изучения свойств декоративных матовых покрытий, изготовленных на основе эпоксидно-акрилового пленкообразующего, использованы:

- диановый эпоксидный олигомер с молекулярной массой  $\sim(900-1100)$ , отверждаемый низкомолекулярным полиамидом ПО-200 и кремнийорганическим амином;
- акриловый сополимер БМК-5, представляющий собой сополимер бутилового эфира метакриловой кислоты и метакриловой кислоты, содержащий от 3,9 до 4,7% (по массе) связанной метакриловой кислоты.

Эпоксидный олигомер и акриловый сополимер в данной работе использовались в виде лаковых растворов в смеси органических растворителей. При отверждении такой термодинамически неустойчивой системы отвердителем аминного типа образуется двухфазная полимерная структура «сетка в сетке». Для отверждения указанной полимерной матрицы исследовали два типа отвердителей: низкомолекулярный полиамид (30%-ный раствор полиамида ПО-200) и кремнийорганический амин [17–19].

В качестве объектов исследований выбраны наполненные эпоксидно-акриловые полимерные композиции. В качестве наполнителей исследован широкий спектр пигментов и наполнителей, которые позволили получить матовое покрытие серого цвета. Пигменты и наполнители вводили в лаковые полимерные композиции в количестве от 50 до 200% (по массе) [8, 19–25].

Для отработки рецептуры матовой эмали и проведения исследований свойств покрытия изготовлены экспериментальные образцы эмали с различным содержанием наполнителей. Диспергирование пигментов и наполнителей проводили на лабораторном оборудовании. При этом определены технологические свойства изготовленных эмалей, а также внешний вид покрытий, определяющий их декоративные свойства.

Основными технологическими характеристиками изготовленных эмалей являются: вязкость, степень дисперсности (перетир) и время диспергирования. Свойства покрытий на основе изготовленных композиций изучали в соответствии с нормативно-технической документацией. Качество полученных лакокрасочных покрытий определяли с применением стандартных методик: прочность при ударе (ГОСТ 4765–73) на приборе У-1А; прочность пленки покрытия при растяжении (эластичность) на приборе «пресс Эриксона» (ГОСТ 29309–2007); адгезию покрытий (ГОСТ 15140–78) методом решетчатых надразов.

Твердость полученных покрытий определяли с помощью измерителя твердости по отпечатку сферического индентора в соответствии с ISO 1518. Индентор представляет собой неподвижно закрепленный в держателе стальной сферический наконечник диаметром 1 мм. Устойчивость лакокрасочной пленки к царапанию (повреждаемость

покрытий при механическом воздействии) определяли после однократного прохождения индентора по поверхности образца. При оценке относительной стойкости различных покрытий к царапанию фиксировали величину  $F$ , при которой на поверхности покрытия появляется след от индентора. Более твердым и прочным покрытиям соответствует большая величина  $F$ .

Коэффициент зеркального отражения (блеск) покрытия определен под углом 60 градусов по блескомеру mikro-gloss (ГОСТ 31975–2017).

Устойчивость покрытий к термоперепадам определяли по методике ЛИ-14 (-60↔+100 °С) в соответствии с ММ 1.595-15-133–2002. Один цикл испытаний соответствует: воздействию камеры влажности при  $\varphi=98\pm 2\%$  и температуре  $23\pm 2$  °С в течение 16–16,5 ч; охлаждению при температуре -60 °С в течение 1 ч; нагреву при температуре +100 °С в течение 2,5 ч; охлаждению при температуре -60 °С в течение 1 ч, затем нагреву при температуре +100 °С в течение 2,5 ч, охлаждению образцов в течение 15 мин.

### Результаты и обсуждение

С целью выбора оптимального состава наполненной полимерной композиции изготовлены образцы эмалей на основе эпоксидно-акриловой полимерной системы. Для обеспечения адгезии и повышения защитных свойств покрытий в системе с наполненными эпоксидно-акриловыми композициями использована грунтовка ВГ-28. Покрытия наносили на образцы алюминиевого сплава Д19-АТ Ан.Окс.нхр. Определение эксплуатационных свойств покрытий, разработанных на основе эпоксидно-акрилового полимерного связующего, проводили в сравнении с покрытием на основе матовой эмали ХС-5245.

В табл. 1, а также на рис. 1 и 2 представлены результаты определения толщины, адгезии, прочности при ударе, эластичности при растяжении, блеска покрытий на основе экспериментальных образцов систем покрытий с применением изготовленных эмалей в сравнении с системой покрытий на основе грунтовки АК-070 и эмали ХС-5245.

Таблица 1

**Результаты определения блеска, адгезии, физико-механических свойств экспериментальных образцов покрытий**

Условный номер образца с покрытием	Содержание наполнителя, % (по массе)	Толщина покрытия, мкм	Адгезия, балл		Физико-механические свойства		Блеск покрытий, отн. ед.
			в исходном состоянии	после 10 сут увлажнения	прочность при ударе, Дж	эластичность при растяжении, мм	
1.1	50	75–80	1	2	5,0	5,9	10,2
2.1	70	70–76	1	2	5,0	5,5	9,0
3.1	100	72–76	1	1	5,0	5,0	7,0
4.1	130	70–78	1	1	5,0	4,5	5,5
5.1	150	76–82	1	1	5,0	4,0	4,7
6.1	170	80–84	2	3	4,5	3,4	4,0
7.1	200	85–90	2	3	4,0	3,0	2,0
1.2	50	74–78	1	2	5,0	6,5	9,6
2.2	70	70–75	1	2	5,0	6,2	8,0
3.2	100	70–74	1	1	5,0	5,5	6,1
4.2	130	70–75	1	1	5,0	5,1	4,9
5.2	150	75–82	1	1	5,0	4,9	3,8
6.2	170	84–88	2	3	4,5	4,3	2,0
7.2	200	88–92	2	3	4,5	4,0	1,5
Эмаль ХС-5245	–	65–70	1	2	5,0	5,3	5,5

Примечание. При отверждении покрытий экспериментальных образцов 1.1–7.1 использовали кремнийорганический амин, для отверждения экспериментальных образцов 1.2–7.2 – низкомолекулярный полиамид.

Из полученных результатов следует, что увеличение содержания наполнителей в эпоксидно-акриловом пленкообразующем (независимо от использованного отвердителя) приводит к изменению адгезии и физико-механических свойств. У покрытий, содержащих 50–70% (по массе) наполнителей, после 10 сут увлажнения наблюдается незначительное снижение адгезии. При содержании наполнителей от 100 до 150% (по массе) формируются покрытия с достаточно высокой адгезией как в исходном состоянии, так и после увлажнения в течение 10 сут. Дальнейшее повышение содержания наполнителей приводит к существенному снижению адгезии покрытий. При содержании наполнителя >170% (по массе) происходит уменьшение прочности покрытий при ударе.

При увеличении содержания наполнителя (рис. 1) наблюдается монотонное уменьшение эластичности при растяжении и блеска покрытий (рис. 2). Для композиций, отвержденных кремнийорганическим амином, эластичность снижается с 5,9 до 3,0 мм, блеск – с 10,2 до 2,0 отн. ед. Для аналогичных композиций, отвержденных низкомолекулярным полиамидом, эластичность снижается с 6,5 до 4,0 мм, а блеск – с 9,6 до 1,5 отн. ед.

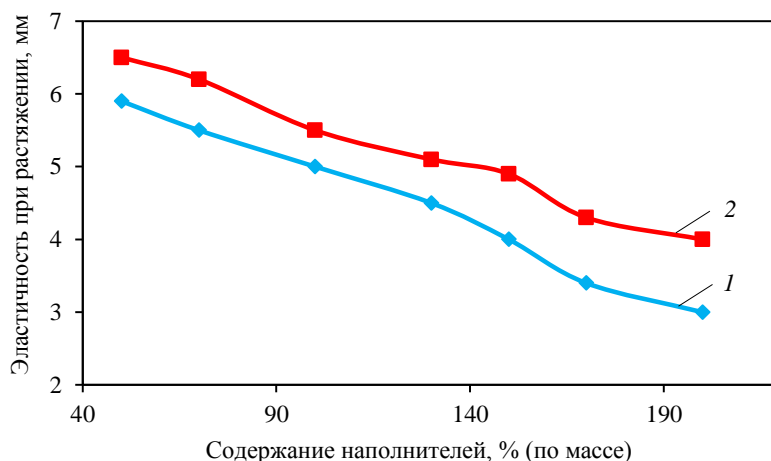


Рис. 1. Зависимость эластичности покрытий при растяжении от содержания наполнителя в полимерной матрице, отвержденной кремнийорганическим амином (1) и низкомолекулярным полиамидом (2)

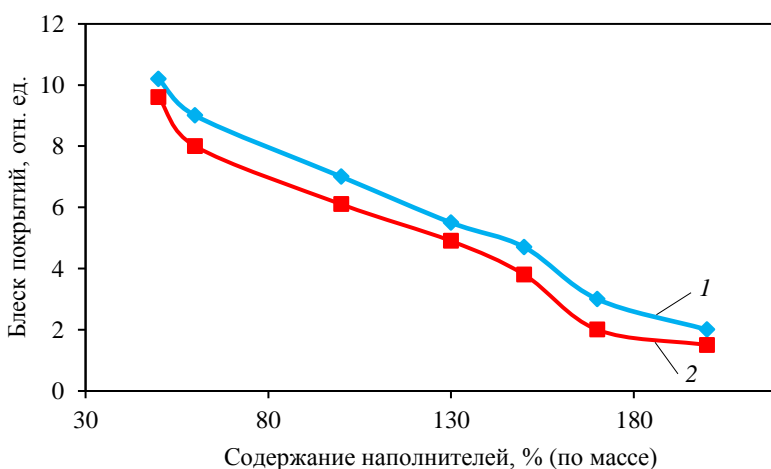


Рис. 2. Зависимость блеска покрытий от содержания наполнителя в полимерной матрице, отвержденной кремнийорганическим амином (1) и низкомолекулярным полиамидом (2)

На основании полученных результатов для дальнейших исследований использованы композиции на основе эпоксидно-акрилового пленкообразующего, содержащие 130 и 150% (по массе) наполнителей, отвержденные кремнийорганическим амином (образцы 4.1 и 5.1) и низкомолекулярным полиамидом (образцы 4.2 и 5.2).

Покрытия на основе выбранных композиций показали хорошие результаты при определении адгезии, прочности при ударе и эластичности при растяжении, а также коэффициента зеркального отражения (блеска). Покрытие на основе эмали ХС-5245 по адгезии и блеску уступает покрытиям на основе эпоксидно-акриловых пленкообразующих, однако превосходит вышеуказанные покрытия по эластичности при растяжении.

Результаты определения адгезии, физико-механических свойств, а также блеска систем покрытий на основе выбранных эпоксидно-акриловых наполненных композиций после искусственного старения по циклу ЛИ-14 представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Результаты определения свойств покрытий после искусственного старения**

Система покрытия (грунтовка+эмаль)	Толщина покрытия, мкм	Значения свойств после термического старения по циклу ЛИ-14 (-60↔+100 °С) в течение 10 циклов				
		Адгезия (ГОСТ 15140–78), балл		Физико-механические свойства		Блеск покрытий, отн. ед.
		в исходном состоянии	после 10 сут увлажнения	прочность при ударе, Дж	эластичность при растяжении, мм	
ВГ-28 + образец 4.1	85–90	1	1	5,0	4,3	5,4
ВГ-28 + образец 5.1	75–85	1	1	5,0	3,8	4,6
ВГ-28 + образец 4.2	85–90	1	1	5,0	5,0	4,8
ВГ-28 + образец 5.2	75–85	1	1	5,0	4,8	3,8
АК-070 + ХВ-5245	65–70	1	2	4,5	4,7	5,3

Из результатов табл. 2 следует, что системы покрытий, полученные на основе матовых эмалей, показали, что после искусственного старения по циклу ЛИ-14 адгезия и прочность покрытия при ударе не снижаются. У покрытий, отвержденных кремнийорганическим амином, эластичность снижается на 4,4–5,0%, а у аналогичных покрытий, отвержденных низкомолекулярным полиамидом, – только на 2%. У покрытия на основе эмали ХС-5245 эластичность при растяжении снижается на 11,3%. Полученные результаты свидетельствуют о том, что покрытия на основе эпоксидно-акриловой полимерной системы превосходят покрытие на основе эмали ХС-5245 по адгезии, прочности при ударе и блеску.

Анализируя результаты определения блеска покрытий в исходном состоянии и после воздействия перепада температур по циклу ЛИ-14, можно заключить, что заметного изменения блеска (коэффициента зеркального отражения) не происходит.

На рис. 3 представлены результаты определения твердости покрытий, полученных на основе эпоксидно-акриловой полимерной системы (по ISO 1518), как в исходном состоянии, так и после испытаний по циклу ЛИ-14, в сравнении с покрытием на основе эмали ХС-5245, изготовленной на основе сополимера винилхлорида с винилиденхлоридом. Видно, что твердость разработанных матовых покрытий, определяемая при силе нагружения индентора 1,5 кг, как в исходном состоянии, так и после испытаний по циклу ЛИ-14, существенно превосходит серийное матовое покрытие на основе эмали ХС-5245 (для различных образцов повышение твердости составляет от 70 до 107%).

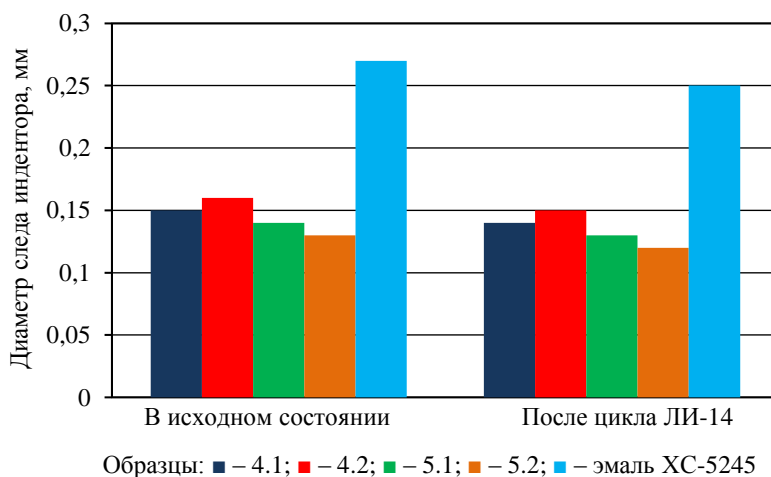


Рис. 3. Диаметр следа индентора при силе нагружения 1,5 кг в исходном состоянии и после искусственного старения

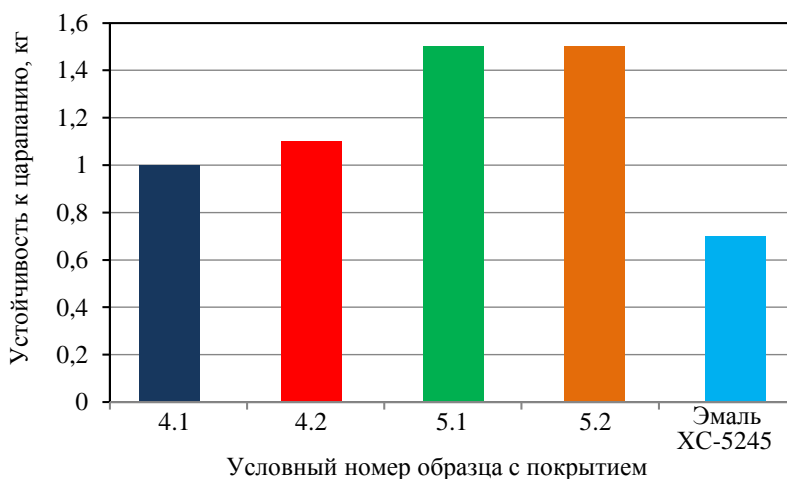


Рис. 4. Устойчивость матовых покрытий к царапанию

Результаты определения стойкости к царапанию матовых покрытий на основе эпоксидно-акрилового пленкообразующего в сравнении с покрытием на основе эмали XC-5245 приведены на рис. 4. Из полученных результатов следует, что матовые покрытия разработанных рецептур более стойки к царапанию, чем покрытие на основе эмали XC-5245, а следовательно, более стойки при механических воздействиях. Наиболее высокими показателями при определении твердости, устойчивости к царапанию, эластичности, а также блеска обладает покрытие, полученное при содержании наполнителя 150% (по массе), при его отверждении низкомолекулярным полиамидом.

### Заключения

Исследовано влияние содержания наполнителя на адгезию, физико-механические свойства, а также блеск покрытий, изготовленных на основе двухфазной эпоксидно-акриловой полимерной системы, отверждаемой кремнийорганическим амином и низкомолекулярным полиамидом в исходном состоянии и после воздействия термоперепада по циклу ЛИ-14 (-60 $\pm$ +100 °С). Показано, что увеличение содержания наполнителей в эпоксидно-акриловом пленкообразующем (независимо от применяемого отвердителя) приводит к монотонному снижению эластичности при растяжении

и блеска покрытий. Исследованы свойства систем покрытий на основе грунтовки ВГ-28 и матовых эмалей, полученных с применением эпоксидно-акрилового пленкообразующего в исходном состоянии и после искусственного старения.

Исследована твердость и стойкость к царапанию систем покрытий, которые разработаны на основе матовых покрытий, в сравнении с серийной системой покрытий на основе грунтовки АК-070 и матовой эмали ХС-5245. Определено оптимальное содержание наполнителей в эпоксидно-акриловой полимерной матрице, при котором достигается наиболее высокий уровень эксплуатационных свойств таких систем покрытий.

### Благодарность

Авторы выражают благодарность сотруднику ФГУП «ВИАМ» В.В. Емельянову за помощь при проведении экспериментальных работ и обсуждении результатов, а также объективную критику при написании данной статьи.

### Библиографический список

1. Железняк В.Г. Современные лакокрасочные материалы для применения в изделиях авиационной техники // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2019. №5 (77). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru>. (дата обращения: 17.10.2020) DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
2. Павлюк Б.Ф. Основные направления в области разработки полимерных функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
3. Меркулова Ю.И., Кузнецова В.А., Новикова Т.А. Исследование свойств системы лакокрасочного покрытия на основе фторполиуретановой эмали и грунтовки с пониженным содержанием токсичных пигментов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2019. №5 (77). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.09.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-68-75.
4. Герасимова Л.Г., Скороходова О.Н. Наполнители для лакокрасочной промышленности. М.: ЛКМ-пресс, 2010. 224 с.
5. Кулезнев В.Н. Смеси полимеров (структура и свойства). М.: Химия, 1980. 304 с.
6. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. М.: Химия, 1977. 603 с.
7. Полуэктова Е.А. Волластонит – уникальный наполнитель ЛКМ // Лакокрасочные материалы и их применение. 2012. №6. С. 24–26.
8. Назаренко В.В. Анизотропные силикатные наполнители: специальные свойства в ЛКМ и покрытиях // Лакокрасочные материалы и их применение. 2012. №1–2. С. 25–33.
9. Соснина С.А., Кулешова И.Д. Регулирование взаимодействия компонентов в наполненных лакокрасочных композициях // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. №1–2. С. 60–62.
10. Коробщикова Т.С., Орлова Н.А. Моделирование механических свойств лакокрасочного материала, наполненного волластонитом // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. №1–2. С. 62–64.
11. Стрекачинская Е.С., Верхоланцев В.В., Грозинская З.П. Закономерности расслаивания растворов смесей олигомеров // Лакокрасочные материалы и их применение. 1980. №4. С. 13–15.
12. Мюллер Б., Пот У. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур. М.: Пейнт-Медиа, 2007. 237 с.
13. Герасимова Л.Г., Маслова М.В. Гидроксиды титана и композиции на их основе. Получение, применение. М.: ЛКМ-пресс, 2011. 90 с.
14. Проблемы защитных ЛКМ: Обзор материалов европейской конференции «Защитные покрытия» («Protective coating») // Лакокрасочные материалы и их применение. 2013. №9. С. 33–35.
15. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. №1. С. 3–12.

16. 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.
17. 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.
18. Семенова Л.В., Малова Н.Е., Кузнецова В.А., Пожого А.А. Лакокрасочные материалы и покрытия // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №8. С. 315–327.
19. Козлова А.А., Кондрашов Э.К. Системы лакокрасочных покрытий для противокоррозионной защиты магниевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №2. С. 44–47. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-2-44-47.
20. Филичкина В.Н. Современное состояние и тенденции развития производства и потребления эпоксидных смол // *Химическая промышленность за рубежом: обзорн. информ.* М.: НИИТЭХИМ, 1988. Вып. 8. 18 с.
21. Мошинский Л.Я. Эпоксидные смолы и отвердители (структура, свойства, химия и топология отверждения). Тель-Авив, 1995. 370 с.
22. Кузнецова В.А., Кузнецов Г.В., Шаповалов Г.Г. Исследование влияния молекулярной массы эпоксидной смолы на адгезионные, физико-механические свойства и эрозионную стойкость покрытий // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн.* 2014. №8. Ст. 08. URL: <http://www.viam.works.ru> (дата обращения: 19.11.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-8-8-8.
23. 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.
24. Калининская Т.В., Дринберг А.С., Ицко Э.Ф. Нанотехнологии. Применение в лакокрасочной промышленности. М.: ЛКМ-пресс, 2011. 184 с.
25. 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.