

УДК 678.6

ПОКРЫТИЯ ПОВЫШЕННОЙ ХИМСТОЙКОСТИ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИНОВОЛАКВИНИЛЭФИРНОЙ СМОЛЫ

Л. В. ЛЕВИЕВ, Н. Р. ПРОКОПЧУК*

Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь

Для антикоррозионной защиты поверхностей трубопроводов и емкостей для прокачки и хранения агрессивных сред, а также металлических конструкций на химических и нефтеперерабатывающих предприятиях требуются лакокрасочные покрытия повышенной химической стойкости. Создание рецептур предполагает обоснованный выбор молекулярной структуры пленкообразователя и отвердителя к нему, формирующего пространственную сетчатую надмолекулярную структуру, устойчивую к внешним воздействиям. Важная роль также принадлежит агрессивностойкости и геометрической форме наполнителей композиционного материала.

Цель работы — экспериментально обосновать выбор антикоррозионного наполнителя для эпоксиноволаквинилэфирной матрицы, оценить стойкость композиционных покрытий в различных агрессивных средах в интервале температур 20–90 °С.

В качестве отвердителя использовали 90%-ный раствор гидропероксида кумола в ароматическом растворителе. Для обеспечения защитных барьерных свойств покрытий применяли наполнители: стеклянные чешуйки Glassflake, алюмосиликатную слюду МІСА, чешуйчатый графит ГС-4. Компондирование и диспергирование компонентов осуществляли на лабораторном диссольтвере LD-200S. Установлено, что оптимальное соотношение пленкообразователь:отвердитель = 98:2 мас.%. Композиция сохраняет жизнеспособность 50 минут при 20 °С. С повышением температуры жизнеспособность композиции снижается и составляет 35–40 минут при 40 °С. Толщина лакокрасочных покрытий по стали, наносимых валиком, составила 500±5 мкм.

Показано, что с ростом содержания стеклянных чешуек в композите его прочность при изгибе возрастает, достигая максимального значения при 15 мас.%. Снижение прочности при содержании наполнителя свыше 15 мас.% объясняется нарушением сплошности полимерной матрицы. Установлено, что максимум на зависимости прочности при изгибе покрытий от толщины стеклянных чешуек соответствует 0,9–2,3 мкм (при их содержании 15 мас.%) При этих толщинах частиц наблюдается максимальный коэффициент сшивания олигомерных молекул пленкообразователя и минимальные значения коэффициентов диффузии, сорбции и проницаемости.

Сравнительная оценка влияния частиц наполнителей на структуру и эксплуатационные свойства покрытий показала, что лучшими являются стеклянные чешуйки.

Ключевые слова: покрытие, пленкообразователь, стеклянные чешуйки, гель-фракция, коэффициент сшивания, прочность при сжатии, агрессивная среда, защитные свойства.

PROTECTIVE PAINT COATINGS WITH INCREASED CHEMICAL RESISTANCE

L. V. LEVIEV, N. R. PROKOPCHUK*

Belarusian State Technological University, 13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Belarus

High corrosive environment resistant paint coatings are required for protection of the surfaces of pipelines and tanks for corrosive media pumping and storing, as well as metal structures in chemical and oil refineries. The creation of formulations of paint and varnish materials for such coatings is an urgent task. It

* Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: nrprok@gmail.com

includes a reasonable choice of the molecular structure of the film former and the hardener to it, which forms a spatial reticular supramolecular structure that is resistant to external influences. An important role also belongs to composite material fillers corrosive environment resistance and its geometric form.

The purpose of this work is to substantiate experimentally the choice of a corrosive environment resistant filler for the epoxynovolacvinylether matrix, to evaluate the durability of composite coatings in various corrosive media in the temperature range 20–90 °C.

The curing agent was a 90% solution of cumene hydroperoxide in an aromatic solvent. The protective barrier properties of the coatings were created by the filler: glass flakes Glass-flake, alumina-silicate mica MICA, flake graphite GS-4. Compounding and dispersion of the components was carried out on a laboratory dissolver LD-200S. It was found that the optimum ratio of film-forming agent:curing agent is 98:2 wt.%. The com position retains its viability for 50 minutes at 20 °C. With the increase in temperature, the viability of the composition decreases and is 35–40 minutes at 40 °C. The thickness of paint coatings on steel applied by the roller was $500 \pm 5 \mu\text{m}$.

Glassflakes content increase in composite lead to its flex strength increase, which reaching its maximum value at 15 wt.%. Reduction of flex strength at a filler content of more than 15% by weight is explained by the violation of the polymer matrix's soundness. It was found that the maximum on the coatings flex strength dependence on the glass flakes thickness corresponds to 0.9–2.3 μm (at a content of 15 wt.%). At these particle thicknesses maximum of film former oligomeric molecules crosslinking coefficient and diffusion, sorption and perme-ability coefficients are at minimum values.

Comparative evaluation of the effect of filler particles on the structure and performance properties of coatings showed that glass scales are the best.

Keywords: coating, film former, glass flakes, gel fraction, crosslinking ratio, compressive strength, corrosive environment, protective properties.

Введение

Лакокрасочные покрытия служат для обеспечения защиты поверхностей изделий из металлов на протяжении заданного срока эксплуатации [1, 2]. Надежность и срок эксплуатации покрытий зависят от многих факторов, в числе которых: агрессивность компонентов, входящих в состав лакокрасочных материалов; уровень адгезионного взаимодействия; проницаемость покрытий в агрессивных средах и др. Ранее [3, 4] на основе анализа литера-

турных данных авторы выбрали эпоксиноволаквинилэфирную смолу для получения высокоэффективных покрытий с высокой стойкостью к воздействию ряда кислот, растворителей, отбеливателей и хорошими механическими свойствами. Установлено [3, 4], что для получения таких покрытий целесообразно использовать двухупаковочную систему, включающую эпоксиноволаквинилэфирный пленкообразователь молекулярной структуры (рис. 1.) и отвердитель — гидроперекись кумола (рис. 2).

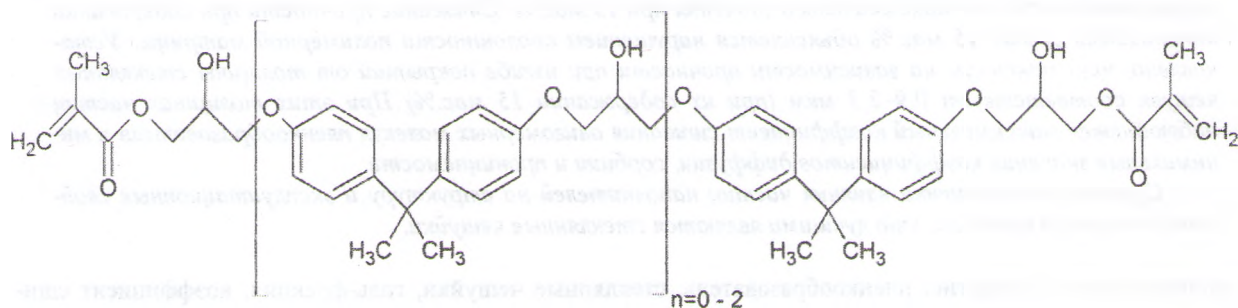


Рисунок 1 — Структурная формула эпоксиноволаквинилэфирного пленкообразователя
Fig. 1 — Structural formula of epoxynovolacvinylether film-forming agent

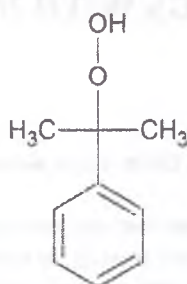


Рисунок 2 — Структурная формула гидроперекиси кумола
Fig. 2 — Structural formula of cumene hydroperoxide

Цель работы — экспериментально обосновать выбор антикоррозионных агрессивостойких наполнителей для рецептур лакокрасочных материалов, обеспечивающих получение покрытий повышенной химстойкости.

Методическая часть

В качестве полимерного связующего использовали эпоксисилолаксвинилэфирную смолу производства компании «ASHLAND» (США), полученную взаимодействием Бисфенола А и метакриловой кислоты [5]. Отвердитель представлял собой продукт компании «AkzoNobel» (Нидерланды) — 90%-ный раствор гидропероксида кумола в ароматическом растворителе [6]. Полимерную композицию получали при массовом соотношении пленкообразователь:отвердитель = 98:2. Для повышения защитных барьерных свойств покрытий в композицию вводили: стеклянные чешуйки «Glassflake» производства компании «Glassflake LTD» (Великобритания) толщиной от 80–120 нм до 5,5–9,0 мкм [7] (табл. 1), алюмосилокатную слюду «MICA» производства «Gunpatroy Private Limited» (Индия) [8] со средней длиной частиц 47 мкм, природный чешуйчатый кристаллический графит Тайгинского месторождения марки ГС-4 [9] со средней толщиной частиц 5,4 мкм.

Таблица 1 — Тип и геометрически размеры стеклянных чешуек
Table 1 — Code and geometrical dimensions of the flakes

Тип чешуек	Толщина чешуек	Средняя длина частиц	Средняя ширина частиц
C1	80–120 нм	74 мкм	2–3 мм
C2	200–300 нм		
C3	450–650 нм		
C4	750–900 нм		
C5	1,3–0,9 мкм		
C6	2,3–1,3 мкм		
C7	3,5–2,3 мкм		
C8	5,5–3,5 мкм		
C9	9,0–5,5 мкм		

Алюмосилокатная слюда «MICA» представляет собой гидратированный силикат калия и алюминия. Свойства алюмосилокатной слюды «MICA»: удельная плотность 2,82 г/см³; рН водной вытяжки 6,9; твердость по Моосу 2,5; показатель преломления 1,58; диэлектрическая проницаемость 7,5; содержание воды 0,5 %.

Для придания покрытиям улучшенных антикоррозионных свойств в композиции вводили также: диоксид титана рутильной формы производства «Du Pont» (США) [10] со средним размером частиц 0,5 мкм, удельной плотностью 3,9 г/см³, маслoемкостью не более 18,7 г/100 г пигмента; технический углерод производства компании «Evonik» (Герма-

ния) [11] плотностью 2,154 г/см³. Они входят в базовую композицию, которая содержит: диоксид титана — 2,5 мас.%; технический углерод — 0,085 мас.%. Компоненты осуществляли на лабораторном диссольтере LD-200S (объем дежи 2,5 л).

Композиции сохраняют жизнеспособность при 20 °С 50 мин, что позволяет наносить покрытие кистью или валиком. С повышением температуры жизнеспособность композиций снижается и составляет, например, 35–40 мин при 40 °С.

Образцы покрытий для испытаний наносили на пластины, подготовленные методом абразивоструйной очистки размером 150×70×4 мм. Толщина слоя 500 мкм. Защиту кромок осуществляли кистью. Сушка естественная в течение 24 ч между слоями.

Изготовление неадгезированных пленок покрытия осуществляли при помощи шелевого аппликатора на фторопластовой пластине. Толщина покрытия 500 мкм, сушка естественная.

Морфологию поверхности образцов полимерных покрытий исследовали с помощью оптического тринокулярного микроскопа МБИ-6 в отраженном свете. Микроскоп снабжен USB камерой марки TUCSEN 1.3 MP MICROSCOPE C-MOUNT DIGITAL VIDEO CAMERA, для обработки изображений использовали стандартное программное обеспечение TSView7.

Коэффициент шивания γ , представляющий собой число сшитых мономерных звеньев, приходящихся на одну молекулу, определяли для олигомеров с наиболее вероятным молекулярно-массовым распределением сшиваемых макромолекул по уравнению:

$$\gamma = 1 / (S + \sqrt{S}),$$

где S — содержание золь-фракции.

Содержания гель и золь-фракции определяли путем экстрагирования образцов в кипящем толуоле с помощью аппарата Сокслета [12].

Предел прочности при сжатии определяли по BS 6319 Часть 2 [13]. В качестве образцов использовали сформованные свободные пленки толщиной 500±5 мкм.

Паропроницаемость определяли по ГОСТ 25898-83 и ASTM E96 [14, 15]. Определение сопротивления паропроницанию лакокрасочных покрытий проводили на 6 образцах диаметром 100 мм. Сопротивление паропроницанию слоя лакокрасочного покрытия R рассчитывали по формуле:

$$R = R_2 - R_1,$$

где R_1 — сопротивление паропроницанию образца материала без лакокрасочного покрытия; R_2 — суммарное сопротивление паропроницанию образца материала и нанесенного на него слоя лакокрасочного покрытия.

Стойкость к статическому воздействию жидкостей определяли по ГОСТ 9.403-80 [16]. Образцы для

испытаний — окрашенные пластины из листовой стали марки 08кп по ГОСТ 16523-97 [17], размером 70×150 мм и толщиной 0,5–1,0 мм, толщина лакокрасочного покрытия 500±5 мкм. Перед испытаниями покрытие выдерживали при температуре (20±2) °С и относительной влажности воздуха (65±5)% в течение 5 сут. Затем образцы выдерживали в агрессивных средах. Коэффициент диффузии определяли по уравнению:

$$D = 0,0494(\tau_0 / \delta^2),$$

где τ_0 — время, за которое произошло увеличение массы образца до $M_{\max}/2$; M_{\max} — масса испытуемого образца при установившемся сорбционном равновесии; δ — толщина образца.

Коэффициент сорбции вычисляли по формуле:

$$S = M_p / M_{\max},$$

где $M_p = M_{\max} - M$, M — масса испытуемого образца до первого погружения его в агрессивную среду.

Коэффициент проницаемости рассчитывали как:

$$P = D \cdot S.$$

Исследование защитных свойств покрытий проводили при помощи емкостно-омического метода с помощью измерителя импеданса LCR-819 фирмы «Instek» (Тайвань) по ГОСТ 9.083-78 [18].

Результаты эксперимента и их обсуждение

Известно [1, 2], что при взаимодействии полимеров с агрессивными средами протекают физико-химические процессы:

- адсорбция компонентов агрессивной среды на поверхности полимера;
- диффузия агрессивной среды в объем полимерного материала;
- химическое взаимодействие агрессивной среды с химически нестойкими связями или группами полимера;
- диффузия продуктов деструкции от защищаемого основания к поверхности полимера;
- десорбция продуктов деструкции с поверхности полимера в агрессивную среду.

В этой связи для увеличения длины диффузионно-

го пути целесообразно использовать пластинчатые наполнители. В результате изучения зависимости прочности от содержания стеклянных чешуек в материале покрытия установлено, что с ростом содержания частиц прочность возрастает, достигая максимального значения при 15 мас.%. При большем содержании частиц наполнителя прочность снижается, что можно объяснить нарушением сплошности полимерной матрицы.

Для сравнения эффективности действия различных пластинчатых наполнителей исследовали паропроницаемость полимерных пленок. Данный показатель определяли за 7 сут. Установлено, что при содержании чешуек в количестве 15 мас.% достигаются оптимальные физико-механические показатели материалов. Поэтому для создания покрытий использовали данную концентрацию наполнителей. Из рис. 3 видно, что при сравнении паропроницаемости полимерных пленок, наименьшие значения обнаружены для материалов, содержащих стеклянные чешуйки, что может объясняться отличием в физико-химических свойствах поверхности стеклянных чешуек от алумосиликатной слюды «МІСА» и чешуйчатого кристаллического графита марки ГС-4. Так, на поверхности чешуйчатого графита имеются ароматические двойные связи, гидроксильные спиртовые группы, фенольные группы, карбоксильные группы [19], потенциально способные к взаимодействию с реакционноспособными центрами полимерного связующего. Вместе с тем, для рассмотренных наполненных материалов наибольшая паропроницаемость свойственна именно для композитов с графитом. Вероятной причиной этого является несовершенная пластинчатая форма чешуек графита. Более высокая паропроницаемость пленок с алумосиликатной слюдой, в сравнении с материалами, наполненными стеклянными чешуйками, обусловлена анизотропией морфологических свойств поверхности алумосиликатной слюды, а также наличием трещин, проколов, расслоений, волнистости и иных аналогичных дефектов [20]. Паропроницаемость в большей мере обусловлена морфологией частиц, их способностью формировать плотноупакованную структуру, затрудняющую проникновение пара через «лабиринт», сформированный чешуйками в полимерной пленке. Химический состав чешуек влияет на способность пленок противостоять не только пару, но и конкретным химическим агрессивным средам. При

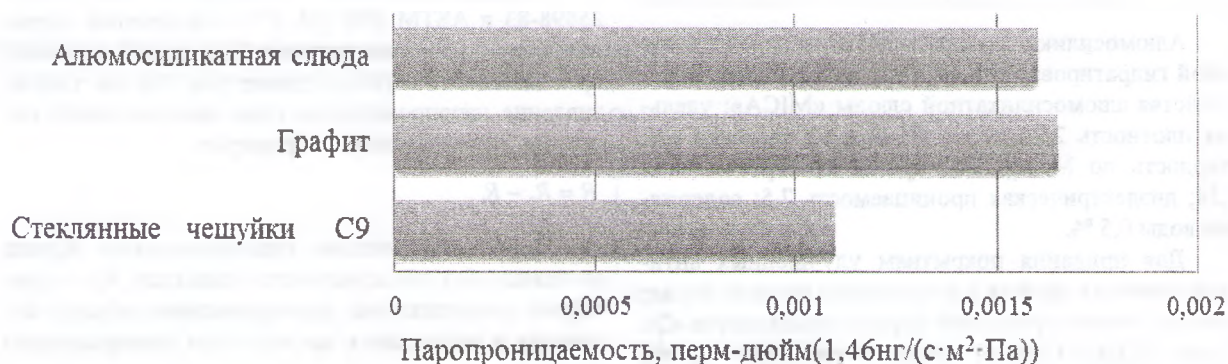


Рисунок 3 — Влияние чешуйчатых наполнителей на паропроницаемость полимерных пленок (содержание наполнителей 15 мас.%)
Fig. 3 — Influence of scaly fillers on the vapor permeability of polymer films (fillers content 15 wt.%)

исследовании свойств свободных пленок, выдержанных в жидких агрессивных средах, выявлено что эффективность действия наполнителя аналогична паропроницаемости (табл. 2).

Таблица 2 — Влияние чешуячатых наполнителей на коэффициент проницаемости полимерных пленок (содержание наполнителей 15 мас.%)
Table 2 — The effect of scaly fillers on the permeability coefficient of polymer films (fillers content 15 wt.%)

Наполнитель	Кoэффициент проницаемости · 10 ⁸ , г·см/(см ² ·с)		
	Дистиллированная вода	5 %-ный раствор H ₂ SO ₄	5 %-ный раствор NaOH
Алюмосиликатная слюда «МІСА»	1,22	3,15	8,45
Графит марки ГС-4	1,24	3,34	8,63
Стекланные чешуйки С-9	0,87	2,96	8,24

При этом, в дистиллированной воде, независимо от типа чешуячатого наполнителя, материалы имеют меньшую проницаемость, чем в серной кислоте и гидроксиде натрия. Высокие значения коэффициента проницаемости в гидроксиде натрия свидетельствуют о невысокой стойкости материалов к данной среде.

В целом, эффект от использования стекланных чешуек заключается в уменьшении площади, доступной для диффундирующего вещества, и в

увеличении длины диффузионного пути. Это достигается тем, что стекланные пластинчатые чешуйки имеют более совершенную, чем графит и слюда, форму. Применение стекланных чешуек в составе покрытий на основе эпоксиноволаквинилэфирной смолы представляется более перспективным.

Тестирование материалов в агрессивных средах показало, что с уменьшением толщины чешуек наблюдается снижение прочности с прохождением через экстремум для материалов, содержащих чешуйки С4–С7 (рис. 4).

При этом, для материалов, на которые воздействовали агрессивные среды, пик с максимальными значениями прочности еще более выражен, чем для композитов, не подвергнутых экспозиции. Для объяснения причин увеличения прочности при использовании чешуек С5–С6 провели анализ параметров пространственной сетки композитных пленок. Обнаружено, что пик для прочностных характеристик материалов хорошо коррелирует с коэффициентом сшивания (табл. 3).

Для материалов, содержащих чешуйки С5–С6, наблюдается также снижение коэффициентов диффузии, сорбции и проницаемости. Это позволяет сделать вывод, что при указанных наполнениях и диапазоне толщин чешуек достигаются необходимые условия для структурообразования слоистого полимерного композита. Микрофотографии среза материала свидетельствуют о том, что ориентация слоев стекланных чешуек происходит преимущественно параллельно защищаемой поверхности (рис. 5).

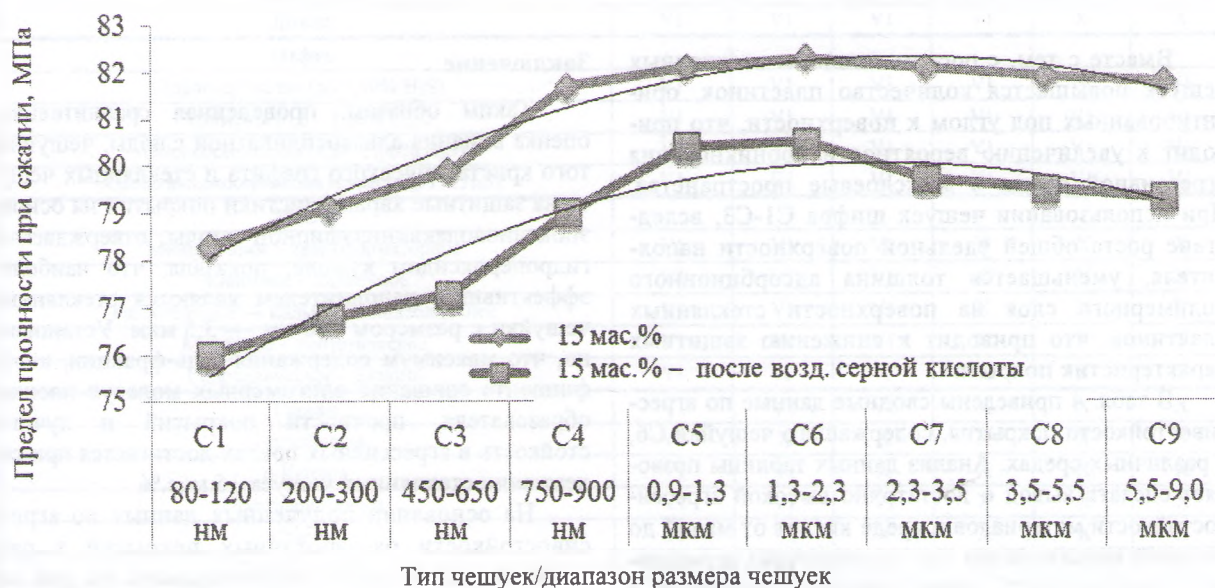


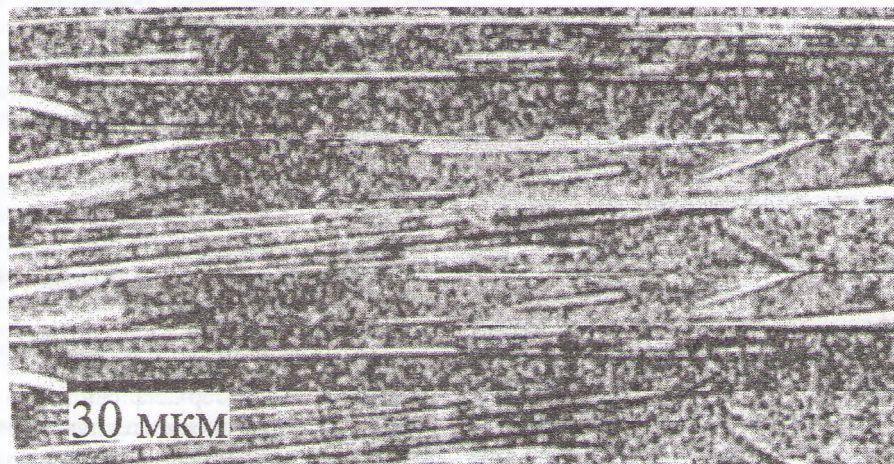
Рисунок 4 — Зависимость прочности при сжатии композитов от размера стекланных чешуек до и после воздействия 10%-ной серной кислоты (содержание чешуек 15 мас.%)

Fig. 4 — Dependence of compression strength of composites on the size of glass flakes before and after exposure to 10% sulfuric acid (flake content 15 wt.%)

Таблица 3 — Влияние размера частиц стеклянных наполнителей на содержание золь-гель-фракции и коэффициент сшивания (содержание чешуек 15 мас.%)

Table 3 — Effect of the glass fillers particle size of the on the content of the sol-gel fraction and the crosslinking ratio (flake content 15 wt.%)

Показатель	Тип стеклянных чешуек								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Содержание гель-фракции, %	88	90	94	96	97	97	96	95	94
Содержание золь-фракции, %	12	10	6	4	3	3	4	5	6
Коэффициент сшивания	2,14	2,4	3,28	4,17	4,92	4,92	4,17	3,65	3,28
Коэффициент диффузии $\times 10^7$, см ² /с	3,65	3,45	3,34	3,28	3,23	3,21	3,28	3,4	3,54
Коэффициент сорбции, г/см ³	0,860	0,759	0,754	0,716	0,622	0,636	0,680	0,715	0,825
Коэффициент проницаемости $\times 10^8$, г·см/(см ² ·с)	3,14	2,62	2,52	2,35	2,01	2,04	2,23	2,43	2,92

Рисунок 5 — Микрофотография среза покрытия, наполненного чешуйками типа C7
Fig. 5 — Photomicrograph of a section of the coating filled with C7 flakes

Вместе с тем, с ростом толщины стеклянных чешуек повышается количество пластинок, ориентированных под углом к поверхности, что приводит к увеличению вероятности проникновения агрессивной среды в межслоевые пространства. При использовании чешуек шифра C1-C3, вследствие роста общей удельной поверхности наполнителя, уменьшается толщина адсорбционного полимерного слоя на поверхности стеклянных пластинок, что приводит к снижению защитных характеристик покрытий.

В табл. 4 приведены сводные данные по агрессивностойкости покрытия, содержащего чешуйки C6, в различных средах. Анализ данных таблицы позволяет сделать вывод о достаточно высокой агрессивностойкости материалов в среде кислот от малой до высокой концентрации при температурах агрессивных сред до 60 °С, очень хорошей стойкости к большинству растворов солей во всем исследованном температурном диапазоне, исключительной стойкости к действию нефти, хорошей маслостойкости.

Заключение

Таким образом, проведенная сравнительная оценка влияния алюмосиликатной слюды, чешуйчатого кристаллического графита и стеклянных чешуек на защитные характеристики покрытий на основе эпоксиноволаквинилэфирной смолы, отверждаемой гидропероксидом кумола, показала, что наиболее эффективным наполнителем являются стеклянные чешуйки с размером 750 нм — 3,5 мкм. Установлено, что максимум содержания гель-фракции, коэффициента сшивания олигомерных молекул пленкообразователя, прочности покрытий и лучшая стойкость в агрессивных средах достигается при содержании стеклянных чешуек 15 мас.%

На основании полученных данных по агрессивностойкости разработанных покрытий в различных средах можно рекомендовать их для защиты внутренних и внешних поверхностей емкостей хранения, трубопроводов, металлических конструкций и др. от воздействия промышленных химических сред на нефтехимических предприятиях.

Таблица 4 — Стойкость композитов в агрессивных средах (Класс химстойкости: V1 — стойкое при погружении в среду; V2 — стойкое к проливам и парам; X — нестойкое) (содержание чешуек С6 — 15 мас.%)
 Table 4 — Stability of composites in corrosive media (Class chemical resistance: V1 — stable when immersed in the medium; V2 — resistant to spills and vapors; X — no persistent) (the content of flakes C6 — 15 wt.%)

Агрессивная среда	Температура, °С					
	0-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Растворы кислот	Класс химстойкости					
Азотная — 5%	V1	V1	V1	X	X	X
Азотная — 10%	V1	V1	V1	X	X	X
Азотная — 25%	V1	V1	X	X	X	X
Азотная — 40%	V2	V2	X	X	X	X
Азотная — 60%	V2	V2	X	X	X	X
Азотная — 70%	X	X	X	X	X	X
Серная — 10%	V1	V1	V1	X	X	X
Серная — 25%	V1	V1	V1	X	X	X
Серная — 50%	V1	V1	V1	X	X	X
Серная — 70%	V1	V1	X	X	X	X
Серная — 75%	V1	V1	X	X	X	X
Серная — 75%	V1	V1	X	X	X	X
Серная — 93-98%	V2	X	X	X	X	X
Ортофосфорная — 20%	V1	V1	V1	X	X	X
Ортофосфорная — 85%	V1	V1	V1	X	X	X
Уксусная — 10%	V1	V1	V1	X	X	X
Уксусная — 10-50%	V1	V1	V1	X	X	X
Уксусная — 50%-100%	V1	X	X	X	X	X
Калия нитрат	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Калия сульфат	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Калия хлорид	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Калия хлорид — 23%	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Калия хлорид - конц.	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Натрия нитрат	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Натрия сульфат	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Натрия хлорид	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Бензин	V1	V1	V1	V1	X	X
Авиакеросин	V1	V1	V1	V1	X	X
Дизель	V1	V1	V1	V1	X	X
Нефть						
Малосернистая (до 0,60% H ₂ S)	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Сернистая (0,61-1,80% H ₂ S)	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Высокосернистая (1,81-3,50% H ₂ S)	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Особо высокосернистая (свыше 3,51% H ₂ S)	V1	V1	V1	V1	V1	V1
Масла						
Минеральное — трансформаторное	V1	V1	V1	X	X	X
Животное — сливочное	V1	V1	V1	X	X	X
Растительные — пальмовое/подсолнечное	V1	V1	V1	X	X	X
Моторное — синтетическое	V1	V1	V1	X	X	X
Гидравлическое — Skydrol	V1	X	X	X	X	X
Гексан	V1	V1	V1	X	X	X
Нитробензол	V1	X	X	X	X	X
п-Ксилол	V1	V1	X	X	X	X
Пропиленгликоль	V1	V1	V1	X	X	X
Стирол	V1	V1	X	X	X	X
Дибтилфталат	V1	V1	V1	X	X	X
Ацетон	V1	X	X	X	X	X
Тулуол	V1	X	X	X	X	X
Метанол	X	X	X	X	X	X
Этиловый спирт	V1	X	X	X	X	X
Бутанол	V1	V1	X	X	X	X
Изопропиловый спирт	V1	V1	X	X	X	X

Обозначения

S1–S9 — тип стеклянных чешуек; γ — коэффициент сшивания; D , см²/с — коэффициент диффузии; K_S , г/см³ — коэффициент сорбции; M , мг — масса образца до первого погружения его в агрессивную среду; M_{max} , мг — масса испытуемого образца при установившемся сорбционном равновесии; M_p , мг — потеря массы образца после выдержки в агрессивной среде; P , г·см/(см²·с) — коэффициент проницаемости; R , м²·ч·Па/м — сопротивление паропрооницанию слоя лакокрасочного покрытия; R_1 , м²·ч·Па/м — сопротивление паропрооницанию образца материала без лакокрасочного покрытия; R_2 , м²·ч·Па/м — суммарное сопротивление паропрооницанию образца материала и нанесенного на него слоя лакокрасочного покрытия; S , % — содержание золь-фракции; δ , мм — толщина образца; τ_0 , с — время, за которое произошло увеличение массы образца до $M_{max}/2$.

Литература

1. Брок Т., Гротэклаус М., Мишке П. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям. М.: Пейнт-Медиа, 2007. 548 с.
2. Фрейтаг В., Стойе Д. Краски, покрытия и растворители / пер. с англ. под ред. Э.Ф. Ишко. СПб.: Профессия, 2007. 528 с.
3. Прокопчук Н. Р., Левиев Л. В. Антикоррозионные полимерные химстойкие покрытия на основе эпоксидных олигомеров (обзор) // Материалы. Технологии. Инструменты. 2015. Т. 20. № 1. С. 43–49.
4. Левиев Л. В., Прокопчук Н. Р. Антикоррозионные покрытия повышенной химстойкости // Труды БГТУ. Сер. IV. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2015. № 4. С. 134–138.
5. Ashland: always solving [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ashland.com> (дата обращения: 01.02.2018).
6. AkzoNobel [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.akzonobel-polymerchemicals.com> (дата обращения: 01.02.2018).
7. Glassflake: new dimensions in strength and stability [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.glassflake.com> (дата обращения: 01.02.2018).
8. MICA [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://grmica.com> (дата обращения: 01.02.2018).
9. Ural Graphit [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://uralgraphite.com> (дата обращения: 20.02.018).
10. Du Pont [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.dupont.ru> (дата обращения: 01.02.2018).
11. Evonik: power to create [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://corporate.evonik.ru> (дата обращения: 01.02.2018).
12. Никитин Л. Н., Меринов И. Г., Саид-Галиев Э. Е. Применение формул зависимости коэффициента сшивания для случая произвольной полидисперсности полимера в статистической теории сеток // Механика композитных материалов. 1990. № 3. С. 553–556.
13. BS 6319-2-1983 Testing of resin and polymer/cement compositions for use in construction. Method for measurement of compressive strength BSI Publ., 1983, 4 p.
14. ГОСТ 25898-2012 Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропрооницанию Введ. 2014-01-01. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2014. 12 с.
15. ASTM E96 / E96M – 16. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM Publ., 2016, 14 p.
16. ГОСТ 9.403-80 (СТ СЭВ 5260-85) Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Методы испытаний на стойкость к статическому воздействию жидкостей (с Изменением N 1). Введ. 1980-01-01. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2002. 7 с.
17. ГОСТ 16523-97. Прокат тонколистовой из углеродистой

стали качественной и обыкновенного качества общего назначения. Введ. 2000-01-01. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2002. 12 с.

18. ГОСТ 9.083-78 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Методы ускоренных испытаний на долговечность в жидких агрессивных средах (с Изменениями N 1, 2). Введ. 1971-01-01. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1989. 56 с.
19. Братков И. В. Разработка способа получения, электрохимические свойства и применение окисленных природных и модифицированных графитов: дис. канд. тех. наук: 05.17.03. Иваново, 2015. 184 с.
20. Дриц В. А., Коссовская А. Г. Глинистые минералы: слюды, хлориты. М.: Наука, 1991. 176 с.

References

1. Brok T., Grotelkaus M., Mischke P. *Evropeyskoe rukovodstvo po lakokrasochnym materialam i pokrytiyam* [European coatings handbook]. Moscow: Paint-Media Publ., 2007. 548 p.
2. Freytag V., Stoye D. *Kraski, pokrytiya i rastvoriteli* [Paints, coatings and solvents]. Saint-Petersburg: Professiya Publ., 2007. 528 p.
3. Prokopchuk N. R., Leviev L. V. Antikorrozionnye polimernye khimstoykie pokrytiya na osnove epoksidnykh oligomerov (Obzor) [Anticorrosive polymeric chemically resistant coat-ings based on epoxy oligomers (review)]. *Materialy. Tekhnologii. Instrumenty* [Materials, Technologies, Tools], 2015, vol. 20, no. 1, pp. 43–49.
4. Leviev L. V., Prokopchuk N. R. Antikorrozionnye pokrytiya povyshennoy khimstoykosti [High chemical resistant anticorrosive coatings]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 4, pp. 134–138.
5. Ashland: always solving. Available at: <http://www.ashland.com/> (accessed 1 February 2018).
6. AkzoNobel. Available at: <http://www.akzonobel-polymerchemicals.com/> (accessed 1 February 2018).
7. Glassflake: new dimensions in strength and stability. Available at: <http://www.glassflake.com> (accessed 01 February 2018).
8. MICA Available at: <http://grmica.com> (accessed 1 February 2018).
9. Ural Graphit. Available at: <http://uralgraphite.com> (accessed 1 February 2018).
10. Du Pont. Available at: <http://www.dupont.ru/> (accessed 1 February 2018).
11. Evonik: power to create. Available at: <http://corporate.evonik.ru> (accessed 1 February 2018).
12. Nikitin L. N., Merinov I. G., Said-Galiev E. E. Primenenie formul zavisimosti koeffitsi-enta sshivaniya dlya sluchaya proizvol'noy polidispersnosti polimera v statisticheskoy teorii setok [Application of the formulas for the dependence of the cross-link coefficient for the case of arbitrary polydispersity of a polymer in the statistical theory of grids]. *Mekhanika kompozitnykh materialov* [Mechanics of Composite Materials], 1990, no. 3, pp. 553–556.
13. BS 6319-2-1983. Testing of resin and polymer/cement compositions for use in construction. Method for measurement of compressive strength. BSI Publ., 1983. 4 p.
14. GOST 25898-2012. Materialy i izdeliya stroitel'nye. Metody opredeleniya soprotivleniya paropronitsaniyu [State Standard 25898-2012. Building materials and products. Methods of steam-tightness determination]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 12 p.
15. ASTM E96 / E96M-16. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM Publ., 2016. 14 p.
16. GOST 9.403-80. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya (ESZKS). Pokrytiya lakokrasochnye. Metody ispytaniy na stoykost' k staticheskomu vozdeystviyu zhidkostey (s izmeneniyem N 1) [State Standard 9.403-80. Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. Test methods for resistance to liquid static effect]. Moscow, Standartinform Publ., 2002. 7 p.
17. GOST 16523-97. Prokat tonkolistovoy iz uglerodistoy stali kachestvennoy i obyknovennogo kachestva obshchego naznacheniya [State Standard 16523-97. Rolled sheets from quality and ordinary carbon steel for general purposes. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2002. 12 p.
18. GOST 9.083-78. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya (ESZKS). Pokrytiya lakokrasochnye. Metody

- uskorennykh ispytaniy na dolgovechnost' v zhidkikh agressivnykh sredakh (s izmeneniyami N 1, 2) [State Standard 9.083-78. Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coat-ings. Accelerated test methods for durability in liquid corrosive mediums]. Moscow, Standartinform Publ., 1989. 56 p.
19. Bratkov I. V. Razrabotka sposoba polucheniya, elektrokhimicheskie svoystva i primenenie oksislennykh prirodnykh i modifitsirovannykh grafitov. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of production method, electrochemical properties and application of oxidized natural and modified graphites. Ph.D. diss.]. Ivanovo, 2015. 184 p.
20. Drits V. A., Kossovskaya A. G. *Glinistyye mineraly: slyudy, khlority* [Clay minerals: mica, chlorites]. Moscow: Nauka Publ., 1991. 176 p.

Поступила в редакцию 15.02.2018

© Л. В. Левнев, Н. Р. Прокопчук, 2018