

УДК 667.637.2

Н. Г. Валько, А. И. Глоба, А. В. Касперович, Ю. В. Духович

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛЫМИ СТЕКЛЯННЫМИ МИКРОСФЕРАМИ

В работе приведены результаты серии экспериментальных исследований структуры и свойств лакокрасочных покрытий, сформированных из двухкомпонентной эпоксидной эмали ЭП-773, модифицированной активными наполнителями – полыми стеклянными микросферами (Q-cel 5070 и Q-cel 6048). Во введении раскрыта актуальность работы, которая связана с необходимостью усовершенствования технологии получения лакокрасочных покрытий и разработки защитных слоев с требуемыми эксплуатационными характеристиками, поскольку нанесение лакокрасочных покрытий на металлические изделия и конструкции является одним из самых распространенных методов борьбы с коррозией. Одним из способов, позволяющих сформировать лакокрасочные покрытия с требуемыми эксплуатационными свойствами, является модификация лакокрасочных материалов полыми стеклянными микросферами. Эффективное совмещение лакокрасочных материалов и стеклянной составляющей в определенных количественных соотношениях дает возможность изменения в нужном направлении физико-механических свойств лакокрасочных покрытий. Цель работы заключена в исследовании влияния модификаторов на морфологию поверхности, элементный состав, структурно-фазовое состояние покрытий, а также механические свойства покрытий (твердость, адгезия, прочность при ударе, влагопоглощение и др.). В основной части приведены результаты исследования структуры и свойств лакокрасочных покрытий, модифицированных полыми стеклянными микросферами. Методом растровой электронной микроскопии обнаружено, что добавление микросфер приводит к уменьшению количества и протяженности микротрещин в покрытии, увеличению его матовости. Показано, что твердость покрытий увеличивается при сохранении на высоком уровне адгезии и прочности при ударе. Установлено, что полые стеклянные микросферы улучшают укрывистость покрытий, способствуя тем самым экономии лакокрасочного материала и увеличению эксплуатационного ресурса покрытий вследствие уменьшения количества продуктов коррозии на поверхности изделий.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы, эпоксидная двухкомпонентная эмаль, микросферы, лакокрасочные покрытия, структура, эксплуатационные свойства.

Введение. В настоящее время лакокрасочные материалы (ЛКМ) широко применяются в различных отраслях хозяйства Республики Беларусь: автомобильной промышленности, машино- и станкостроении, производстве металлоконструкций различного типа, для окраски подвижного состава, маркировки изделий и нанесения разметки на дорожное полотно. Сфера применения ЛКМ интенсивно расширяется, поскольку их нанесение на металлические изделия и конструкции является одним из самых распространенных методов борьбы с коррозией и придания им архитектурно-декоративного вида. Эксплуатационный ресурс качественно окрашенных изделий и конструкций повышается до 10 раз. Кроме того, активное развитие лакокрасочной промышленности обусловлено экологичностью лакокрасочных покрытий (ЛКП), их невысокой

Валько Наталья Георгиевна, канд. физ.-мат. наук, доц., доц. каф. общей физики ГрГУ им. Янки Купалы (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Беларусь; e-mail: nvalko@gmail.com

Глоба Анастасия Ивановна, канд. хим. наук, доц. каф. полимерных композиционных материалов БГТУ (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь; e-mail: A.I.Globa@yandex.by

Касперович Андрей Викторович, канд. хим. наук, доц. каф. полимерных композиционных материалов БГТУ (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь; e-mail: andkasp@mail.ru

Духович Юлия Владимировна, студент факультета технологии органических веществ БГТУ (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь; e-mail: juliaduhovich12@gmail.com

ценой, технологической легкостью при производстве. Поэтому актуальным является проблема усовершенствования технологии получения декоративных и защитных лакокрасочных покрытий с высокими эксплуатационными свойствами и длительным сроком службы.

Одним из способов, позволяющих сформировать лакокрасочные покрытия с требуемыми эксплуатационными свойствами, является модификация ЛКМ полыми стеклянными микросферами. Следует отметить, что главной задачей лакокрасочных производств, наряду с повышением качества лакокрасочных покрытий, является снижение материальных и энергетических затрат на производство лакокрасочных материалов и покрытий на их основе. Эффективное же совмещение ЛКМ и стеклянной составляющей в определенных количественных соотношениях дает возможность изменения в нужном направлении физико-механических свойств ЛКП [1–7] без повышения энергетических затрат.

С целью достижения заранее заданных свойств ЛКП следует учитывать выбор марки микросфер, который обуславливает оптимальную физико-химическую совместимость их с ЛКМ. При этом поверхность микросфер выступает как самостоятельный элемент структуры, где протекают процессы диффузии, растворения, перераспределения, образования новых химических соединений и связей между компонентами, через которые передаются нагрузки.

Цель данной работы заключалась в исследовании структуры лакокрасочных покрытий, сформированных из двухкомпонентной промышленно выпускаемой эпоксидной эмали ЭП-773, модифицированной активными наполнителями – полыми стеклянными микросферами (Q-cel 5070 и Q-cel 6048).

Интерес к исследованию эпоксидной эмали ЭП-773 связан с тем, что классические сферы ее применения – это строительство и промышленный ремонт. Данные ЛКМ используются для окрашивания незагрунтованных и загрунтованных грунт-шпатлевками или металлических поверхностей, в том числе подвергающихся действию горячих растворов щелочей.

Полые стеклянные микросферы Q-Cel являются неорганическим функциональным наполнителем, который полностью совместим с эпоксидами и дает возможность формирования покрытий с пониженной плотностью, улучшенными эксплуатационными свойствами и характеристиками.

Основной задачей исследований, результаты которых приведены в статье, было установление влияния объемной концентрации и марки стеклянных микросфер Q-Cel на структурообразование ЛКП. Особый научный интерес в данном исследовании представляло изучение влияния концентрации микросфер на свойства ЛКП, а именно: твердость, прочность при ударе, адгезию, блеск, влагопоглощение и укрывистость.

Методики проведения экспериментов. Для исследования влияния различных типов модификаторов на структуру и свойства ЛКП использовались микросферы марок Q-cel 5070 и Q-cel 6048, свойства которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства полых стеклянных микросфер

Марка микросфер	Объемная плотность, г/см ³	Эффективная плотность, г/см ³	Диаметр микросфер, мкм	Механическая прочность, МПа
Q-cel 5070	0,42	0,7	50	24,2
Q-cel 6048	0,27	0,47	60	20,7

Введение полых стеклянных микросфер в промышленно производимую краску (двухкомпонентную эпоксидную эмаль) осуществлялось в количестве 5 и 10 об % с последующим интенсивным перемешиванием составов до полного распределения наполнителя по всему объему. Так как полые стеклянные микросферы разбиваются фрезерными мешалками при диспергировании в диссольтвере, то очень важным является соблюдение скоростного и временного режима модифицирования во избежание ухудшения свойств лакокрасочной продукции. В связи с этим перемешивание осуществляли с помощью якорной мешалки с верхнеприводным двигателем при скорости вращения до 500 об/мин, температуре 20 °С в течение 30 мин.

Для проведения испытаний полученные композиции лакокрасочных материалов наносили аппликатором на зачищенные пластины из стали марки 08 кп размером $70 \times 150 \times (0,8-1,0)$ мм. Отверждение покрытий осуществляли при температуре 120°C в течение 1,5 ч. Определение физико-механических и защитных свойств лакокрасочных покрытий проводили по стандартным методикам: твердость (ГОСТ 5233), прочность при ударе (ГОСТ 4765), адгезия методом решетчатых надрезов (ГОСТ 15140), блеск (ГОСТ 52663), водопоглощение (ГОСТ 4650), укрывистость (ГОСТ 8784), время высыхания до третьей степени (ГОСТ 19007). Исследование морфологии поверхности и элементного состава ЛКП проводили методом растровой электронной микроскопии на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония). Рентгеноструктурные исследования проводили на дифрактометре ДРОН-3М в медном излучении.

Результаты и их обсуждение. В таблице 2 представлены технологические свойства модифицированной эмали и эксплуатационные характеристики покрытий на ее основе в зависимости от количества введенных модификаторов.

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что введение полых стеклянных микросфер в эмаль ЭП-773 приводит к закономерному увеличению условной вязкости лакокрасочного материала. Вязкость является одной из важных характеристик лакокрасочных материалов и показывает склонность к образованию потеков и других дефектов лакокрасочных покрытий. Кроме того, значение условной вязкости определяет способы нанесения ЛКМ. Например, высокая вязкость затрудняет применение лакокрасочных материалов, так как слишком вязкие материалы плохо проходят через сопло распылителя и не могут быть распределены ровным слоем по поверхности окрашиваемого изделия. В то же время ЛКМ с низкой вязкостью стекают с окрашиваемых наклонных поверхностей, формируя неравномерное по толщине лакокрасочное покрытие с натеками в нижней части поверхностей. Поэтому увеличение вязкости эпоксидной эмали ЭП-773, модифицированной стеклянными микросферами Q-cel в количестве 5 об % и 10 об %, указывает на получение ЛКМ с оптимальной вязкостью и на возможность формирования покрытий с равномерно распределенным ЛКП по покрываемому изделию.

Таблица 2 – Свойства эпоксидной эмали ЭП-773, модифицированной стеклянными микросферами

Содержание микросфер, %	0 %	Q-cel 5070		Q-cel 6048	
		5 %	10 %	5 %	10 %
Массовая доля нелетучих веществ, %	61,2	69,1	72,8	65,4	66,3
Условная вязкость по вискозиметру типа ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм при температуре $(120 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, с	80	98	120	95	120
Время высыхания до 3-й степени при температуре $(120 \pm 2)^\circ\text{C}$, мин, не более	37	31	26	32	30
Адгезия, балл	1	1	1	1	1
Прочность покрытия при ударе, см	90	90	90	90	90
Твердость покрытия по маятниковому прибору ТМЛ, отн. ед., не менее	0,44	0,45	0,51	0,47	0,51
Укрывистость, г/м ²	300	245	202	250	205
Влагопоглощение, %	1,61	1,35	1,23	1,43	1,33
Блеск, %	41,5	15,8	8,0	10,1	5,2

Как показывают данные таблицы 2, массовая доля нелетучих веществ эпоксидной эмали ЭП-773 значительно ниже, чем у модифицированной стеклянными микросферами. При этом микросферы Q-cel 5070 значительно увеличивают массовую долю нелетучих веществ, чем микросферы Q-cel 6048, что связано с различной плотностью данных материалов. Положительным эффектом является уменьшение времени высыхания покрытий до 3 степени. При добавлении 10 % Q-cel 5070 данный показатель снизился на 11 мин, что составляет 30 %

в сравнении с немодифицированной краской, а при добавлении 10 % Q-cel 6048 – на 7 мин, что составляет 20 % в сравнении с контрольными немодифицированными образцами.

При увеличении концентрации микросфер Q-cel 5070 и Q-cel 6048 от 5 до 10 % такие показатели, как адгезия и прочность покрытия при ударе, не изменяются и составляют 1 балл и 90 см соответственно. Твердость покрытия по маятниковому прибору увеличивается практически на 16 % при добавлении 10 % микросфер Q-cel 5070, а при добавлении микросфер Q-cel 6048 в количестве 10 % возрастает на 8,5 %. Дальнейшее увеличение концентрации микросфер резко снижает твердость покрытий по сравнению с немодифицированной краской. Из этого следует, что увеличение твердости достигается только при оптимальной концентрации полых стеклянных микросфер (10 %), дальнейшее же увеличение содержания микросфер лишь ухудшает этот показатель. Водопоглощение покрытия при добавлении микросфер в количестве 10 % в среднем снизилось на 20 %, что способствует повышению водостойкости покрытия. Стоит отметить, что водопоглощение ЛКП – это свойство ЛКП покрытия при непосредственном соприкосновении с водой удерживать ее в своих порах. Известно, что макромолекулы полимера взаимодействуют посредством сил Ван-дер-Ваальса и обладают относительно прочными химическими связями, гораздо сильнее сил молекулярного взаимодействия. Однако в силу структурных особенностей в ЛКП присутствуют участки, где ассоциативные силы практически отсутствуют, что является причиной образования потенциальных ям или микропустот, способных удерживать влагу. Добавление в ЛКМ микросфер приводит к снижению микропустот в ЛКП и, соответственно, увеличению водостойкости.

Введение полых стеклянных микросфер также обеспечивает значительное уменьшение укрывистости, а соответственно, сокращается и расход краски на единицу площади окрашиваемой поверхности. Блеск покрытия уменьшился значительно (при 10 % Q-cel 5070 на 80,7 %, а Q-cel 6048 на 88,7 %), что является предсказуемым результатом, так как во время модификации вводятся более крупнодисперсные частицы в сравнении с имеющимися в составе пигментами.

Исследование морфологии поверхности немодифицированной эпоксидной эмали ЭП-773 показали, что визуально данное покрытие является гладким, полуглянцевым, без потеков и посторонних включений. Однако РЭМ-исследования морфологии поверхности, представленные на рисунке 1, позволили выявить на поверхности ЛКП наличие неоднородностей, микроямок и коротких непротяженных трещин. Возникновение микроямок и трещиноватости на поверхности ЛКП связано с возникновением внутренних напряжений при его отверждении. Наличие подобного рода дефектов на ЛКП может привести к полному разрушению покрытия, коррозии металла или разрушению окрашенной подложки в целом.

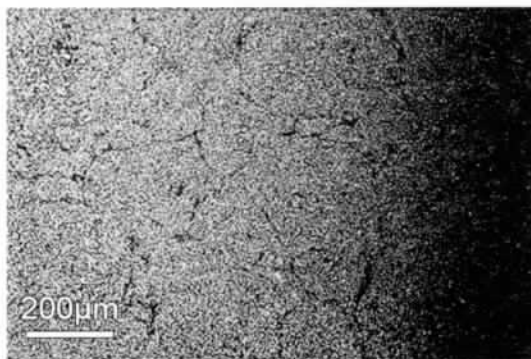
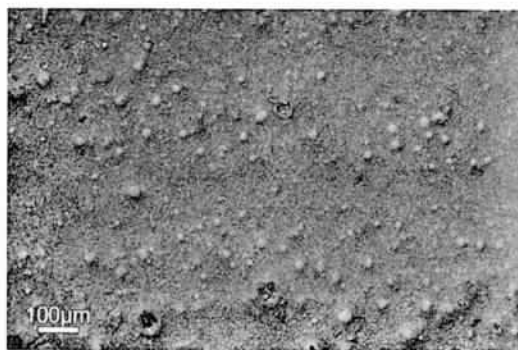


Рисунок 1 – Морфология поверхности ЛКП, сформированного из ЭП-773

Введение в эпоксидную эмаль ЭП-773 стеклянных микросфер с концентрацией 5 об % приводит к уменьшению количества трещин и их протяженности (рисунок 2). На поверхности присутствуют несколько кратерообразных областей, четкие границы которых указывают на то, что они образовались в результате разрушения микросфер. Стоит отметить, что в местах, свободных от микросфер, покрытие гладкое, сплошное без видимых трещин на поверхности.

По всей видимости, микросферы блокируют распространение трещин по поверхности. Увеличение объемной концентрации микросфер до 10 об % способствует увеличению сплошности покрытия. На рисунке 2.2 также видно, что увеличение концентрации микросфер в ЛКМ приводит к росту шероховатости ввиду увеличения количества включенных микросфер в матрицу покрытия. Среднее арифметическое количество микросфер на единицу площади поверхности покрытия при 5%-м содержании наполнителя составляет $4 \cdot 10^3/\text{мм}^2$, а при 10%-м – $7 \cdot 10^3/\text{мм}^2$.

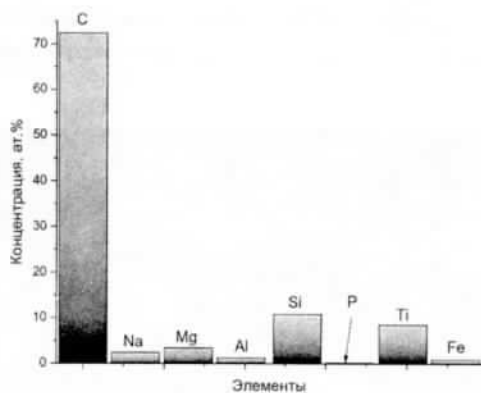
На рисунке 2 (1а и 2а) представлен также элементный состав ЛКП, сформированного из ЭП-773, модифицированного стеклянными микросферами Q-cel 5070 в количестве 5 и 10 %.



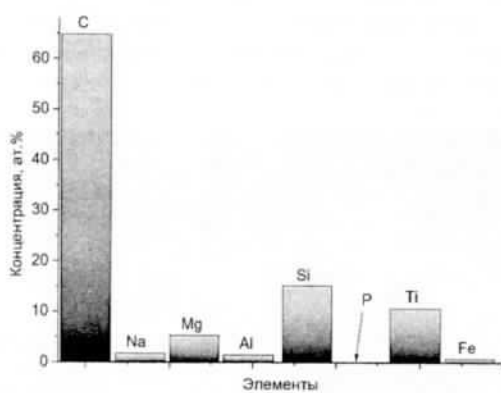
1



2



1а



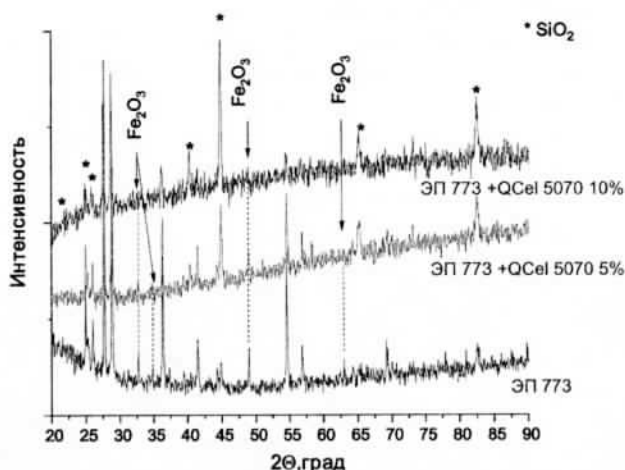
2а

Пояснения: 1 – 5 %; 2 – 10 %.

Рисунок 2 – Морфология поверхности (1, 2) и элементный состав (1а, 2а) ЛКП, сформированного из ЭП-773 и модифицированного микросферами Q-Cel 5070

Анализ элементного состава показывает, что с увеличением концентрации микросфер в ЛКМ возрастает концентрация кремния в ЛКП, что вполне закономерно. Обнаружено, что концентрация железа в ЛКП с увеличением концентрации микросфер Q-cel 5070 в сравнении с другими образцами снижается, что связано с повышенной сплошностью покрытий, а также с уменьшением количества трещин на поверхности и в объеме покрытия, которые являются источником коррозионных разрушений покрываемого изделия.

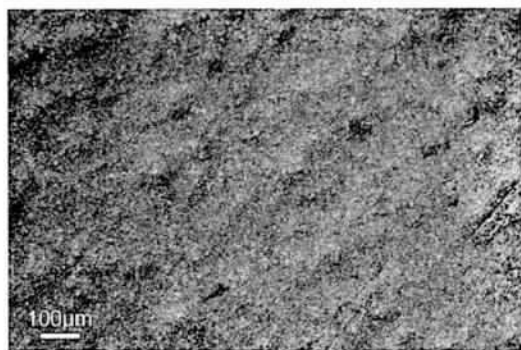
На рисунке 3 представлены результаты исследования структуры методом рентгеноструктурного анализа. Анализ участков рентгенограмм показывает наличие рефлексов от SiO_2 во всех исследуемых ЛКП. Увеличение концентрации микросфер Q-cel 5070 в ЛКМ отражается на рентгенограммах ростом интенсивности рефлексов, соответствующих SiO_2 , что коррелирует с результатами исследования элементного состава. На дифрактограммах покрытий эпоксидной эмали ЭП-773 обнаружено присутствие малоинтенсивных линий, соответствующих оксидам железа Fe_2O_3 . Видно, что при добавлении микросфер Q-cel 5070 в ЛКМ интенсивность рефлексов от оксидов железа снижается.



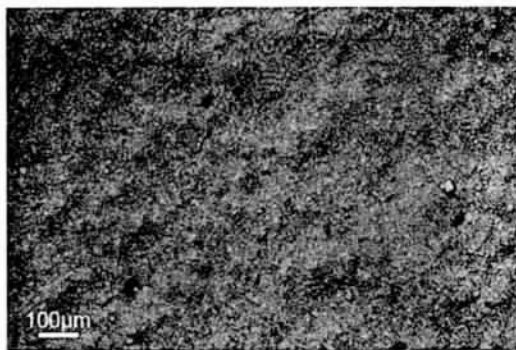
Пояснения: 1 – 0 %; 2 – 5 %; 4 – 10 %.

Рисунок 3 – Участки дифрактограмм ЛКП ЭП-773 с различной объемной концентрацией микросфер Q-Cel 5070

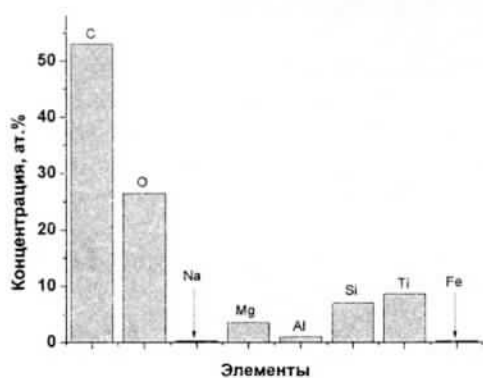
Для покрытий с 10%-м содержанием микросфер рефлексы, соответствующие оксидам железа, исчезают, что указывает на их повышенную коррозионную стойкость к внешним воздействиям в сравнении с покрытиями эпоксидной эмали ЭП-773. Стоит отметить снижение интенсивности и уширение основных рефлексов матрицы ЛКП, что связано с разупорядочением кристаллической структуры полимера.



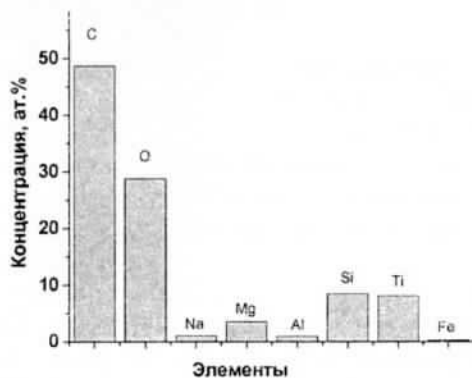
1



2



1a



2a

Пояснения: 1 – 5 %; 2 – 10 %.

Рисунок 4 – Морфология поверхности (1, 2) и элементный состав (1a, 2a) ЛКП, сформированного из ЭП-773 и модифицированного микросферами Q-Cel 6048

Таким образом, анализ результатов исследования элементного и фазового состава ЛКП, модифицированных микроферами Q-cel 5070, позволяет заключить, что добавление полых стеклянных микрофер в эпоксидную эмаль ЭП-773 увеличивает сплошность покрытий, уменьшает количество трещин на поверхности и в объеме и, соответственно, уменьшает вероятность возникновения коррозионных поражений.

На рисунке 4 показаны морфология поверхности и элементный состав ЛКП ЭП-773, модифицированного стеклянными микроферами Q-cel 6048 в количестве 5 и 10 %.

Анализ морфологии поверхности ЛКП ЭП-773, модифицированного наполнителем Q-Cel 6048 указывает на существенное отличие в механизме встраивания данного вида наполнителя в матрицу ЛКМ. Видно, что микроферы не выходят на поверхность покрытия, а закупорены в нем. Данный факт объясняется уменьшением диффузии микрофер непосредственно в ЛКМ, обусловленной большим радиусом микрофер Q-Cel 6048 в сравнении с модификатором Q-Cel 5070.

Исследования элементного и рентгеновского фазового состава коррелируют с результатами, описанными выше. Однако стоит указать, что концентрация кремния в ЛКП с микроферами Q-Cel 6048 несколько ниже, чем в покрытиях, модифицированных Q-Cel 5070, при тех же концентрациях, что вполне закономерно, учитывая различия в плотности данных модификаторов. Обнаружено также, что концентрация железа в ЛКП, модифицированных Q-Cel 6048, ниже, чем у ЛКП, модифицированных Q-Cel 5070, что связано с лучшей укрывистостью данного ЛКМ.

Выводы. В ходе анализа экспериментальных данных по модификации двухкомпонентной лакокрасочной системы стеклянными полыми микроферами можно сделать вывод, что добавление микрофер в матрицу основного покрытия в определенных концентрационных пределах приводит к снижению внутренних напряжений и к уменьшению трещин, что сказывается на физико-механических свойствах покрытий.

Оптимальной концентрацией является добавление 10 % полых стеклянных микрофер. Такая концентрация обеспечивает увеличение твердости на 10–15 %, уменьшение влагопоглощения на 20 % при сохранении на высоком уровне адгезии и прочности при ударе. Кроме того, добавление микрофер положительно сказывается на времени высыхания покрытий (снижается на 20–30 %) и расходе ЛКМ (укривистость понижается 30–40 %), но приводит к уменьшению блеска (покрытие становится матовым).

Анализ результатов исследования элементного и фазового состава ЛКП, модифицированных микроферами, позволяет заключить, что добавление полых стеклянных микрофер в ЛКМ ЭП-773 уменьшает скорость образования продуктов коррозии, способствуя тем самым увеличению эксплуатационного ресурса изделий, покрываемых ЛКМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние УФ-излучения на твердость лаковых покрытий / Н. Г. Валько [и др.] // Нефтехимия – 2019 : материалы II Междунар. науч.-техн. и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 16–18 сент. 2019 г. / БГТУ ; отв. за вып. С. О. Мамчик. – Минск : БГТУ, 2019. – С. 146–149.
2. Волков, Д. Исследование теплопроводности полимерных композиционных материалов / Д. Волков [и др.] // Изв. вузов. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 1. – С. 75–77.
3. Покрытие, наполненное полыми микроферами, предотвращающее облеснение поверхностей различных изделий : пат. 2349618 РФ, МПК С 09 D 5/02 С 09 К 3/18 / В. С. Беляев. – Оpubл. 20.03.2009.
4. Состав для изготовления низкоплотного материала для защиты приборов от механических воздействий : пат. 2574241 РФ, МПК С 08 J 9/32, С 09 К 3/00 / М. С. Червяков, С. А. Федотов. – Оpubл. 10.02.2016.
5. Антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие на основе полых микрофер : пат. 2251563 РФ, МПК С 09 D 5/02, 5/08 / В. С. Беляев. – Оpubл. 10.05.2005.
6. Полимерная радиопрозрачная композиция : пат. 2570446 РФ, МПК С 08 L 63/00; С 09 D 163/00 / Е. Н. Каблов, Л. В. Семенова, Т. А. Лебедева, Н. И. Нефедов, М. В. Белова, М. Л. Румянцева, Ф. У. Хусанова. – Оpubл. 10.12.2015.
7. Композиция для получения термозащитного покрытия и термозащитное покрытие : пат. 2529525 РФ, МПК С 09 D 5/18, 1/00 / Ю. А. Григорьев. – Оpubл. 27.09.2014.

"Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 2. Mathematics. Physics. Informatics, Computer Technology and Control" Vol. 10, No. 2, 2020, pp. 95–102
© Yanka Kupala State University of Grodno, 2020

Structure and properties of paint coatings modified with hollow glass microspheres

N. G. Valko¹, A. I. Globa², A. V. Kasperovich³, Yu. V. Dukhovich⁴

¹ Yanka Kupala State University of Grodno (Belarus)
Ozheshko St., 22, 230023, Grodno, Belarus; e-mail: nvalko@gmail.com

² Belarusian State Technological University (Belarus)
Sverdlova St., 13a, 220006, Minsk, Belarus; e-mail: A.I.Globa@yandex.by

³ Belarusian State Technological University (Belarus)
Sverdlova St., 13a, 220006, Minsk, Belarus; e-mail: andkasp@mail.ru

⁴ Belarusian State Technological University (Belarus)
Sverdlova St., 13a, 220006, Minsk, Belarus; e-mail: juliaduhovich12@gmail.com

Abstract. The paper presents results of experimental studies of a structure and properties of coatings formed from two-component epoxy enamel EP-773. The coatings have been modified with active fillers as hollow glass microspheres (Q-cel 5070 and Q-cel 6048). The introduction reveals the relevance of the work associated with the need of improving a technology for coatings producing and developing protective layers with required performance characteristics. The purpose of the work is the investigation of modifiers effect on a surface morphology, an elemental composition, coatings structural-phase state, and its mechanical properties (hardness, adhesion, impact strength, moisture absorption, etc.). The main part presents results of studying of a structure and properties of the coatings modified with hollow glass microspheres. It was found that the addition of microspheres leads to decrease in a number and extent of microcracks in a volume of paint coatings and mat increasing, using scanning electron microscopy. It is shown that a hardness of the paint coatings increases, while maintaining a high level of adhesion and impact strength. It has been established that hollow glass microspheres improve the hiding power of the paint coatings, thereby contributing to saving paintwork material and increasing the service life of coatings due to a decrease for products on the surface of paint coatings.

Keywords: paintwork materials, two-component epoxy enamel, microspheres, paint coatings, structure, operational properties.

References

1. Vaiko N. G. [et al.]. The effect of UV radiation on the hardness of paint coatings [*Vliianie UF-izlucheniia na tverdst' lakovykh pokrytii*]. *Petrochemistry - 2019 : materials of the 2nd Int. scientific-technical and Investment Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing*, Minsk, Sept. 16-19, 2019; Ed. by S. O. Mamchik. Minsk, 2019, pp. 146-149.
2. Volkov D. [et al.]. Investigation of the thermal conductivity of polymer composite materials [*Issledovanie teploprovodnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov*]. *Izv. Universities. Instrument making*, 2009, vol. 52, No. 1, pp. 75-77.
3. Beliaev V. S. A coating filled with hollow microspheres that prevents icing of the surfaces of various products [*Pokrytie, napolnennoe polymi mikrosferami, predotvrashchaiushchee obledenenie poverkhnosti razlichnykh izdelii*]: pat. 2349618 RF, IPC C 09 D 5/02 C 09 K 3/18. Publ. 20.03.2009.
4. Chervakov M. S., Fedotov S. A. Composition for the manufacture of low-density material for protecting devices from mechanical stress [*Sostav dlia izgotovleniia nizkoplotnogo materiala dlia zashchity priborov ot mekhanicheskikh vozdeistvii*]: pat. 2574241 RF, IPC C 08 J 9/32, C 09 K 3/00. Publ. 10.02.2016.
5. Beliaev V. S. Anticorrosion and heat-insulating coating based on hollow microspheres [*Antikorrozionnoe i teploizolatsionnoe pokrytie na osnove polykh mikrosfer*]: pat. 2251563 RF, IPC 7 09 D 5/02, 5/08. Publ.
6. Kablov E. N., Semenova L. V., Lebedeva T. A., Nefedov N. I., Belova M. V., Rummyantseva M. L., Khusainova F. U. Polymeric radiolucent composition [*Polimernaia radioprozrachnaia kompozitsiia*]: pat. 2570446 RF, IPC C 08 L 63/00; C 09 D 163/00. Publ. 10.12.2015.
7. Grigoriev Yu. A. Composition for obtaining a thermal protective coating and thermal protective coating [*Kompozitsiia dlia polucheniia termozashchitnogo pokrytiia i termozashchitnoe pokrytie*]: pat. 2529525 RF, IPC 7 C 09 D 5/18, 1/00. Publ. 27.09.2014.