

УДК 620.197:621

ВЛИЯНИЕ СИЛИКАТСОДЕРЖАЩИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОЙ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

Е.Ф. КУДИНА⁺

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси», ул. Кирова 32а, 246050, Гомель, Беларусь

Исследовано влияние функционализации эпоксидно-диановой смолы фенолоформальдегидной смолой и бинарным феноло-каучуковым компонентом на физико-механические свойства композитов и покрытий на их основе. Показано, что введение силикатсодержащих наполнителей (ценосферы, шунгит, синтезированный железосодержащий гибридный наполнитель на основе эпоксидно-силикатной матрицы) в функционализированную эпоксидную смолу приводит к повышению прочности при сжатии, микротвердости композита и адгезионной прочности формируемых покрытий к стали.

Ключевые слова: эпоксидно-диановая смола, функционализация, силикатсодержащий наполнитель, композит, покрытие, сталь, свойства.

Введение

Композиционные материалы на основе эпоксидных смол в настоящее время широко востребованы во многих отраслях промышленности, однако их свойства далеки от требуемых для полной реализации потенциальных возможностей соответствующих композитов. Развитие современной техники предъявляет повышенные требования к физико-химическим и механическим свойствам композиционных материалов, обеспечивающих их устойчивость к различным температурам, влажности и агрессивным средам, а также прочности и пластичности, совокупность которых определяет эффективность использования материала в конструкциях. Актуальность сохраняет и проблема обеспечения адгезионной прочности соединения при применении композиционных материалов на основе эпоксидных смол в качестве покрытий металлических поверхностей.

Широкое применение эпоксидных смол обусловлено спектром их высоких физико-механических свойств: повышенная водонепроницаемость [1–4], высокая термостойкость и влагостойкость, низкое значение катодного отслаивания [5, 6] и др., обеспечивающих материалам, создаваемым на их основе высокие эксплуатационные характеристики.

Однако при этом эпоксидные смолы относительно хрупки, имеют недостаточную эластичность

и, как следствие, прочность при ударе и склонность к растрескиванию [7–10]. Одним из направлений решения данных проблем может быть получение композиционных материалов на основе функционализированных эпоксидных смол и введение в их состав минеральных наполнителей.

Функционализация эпоксидной смолы олигомерными или полимерными органическими компонентами позволит обеспечить эластичные свойства и снизить хрупкость связующего [11, 12]. В качестве функционализирующих реагентов наиболее целесообразно использовать феноло-формальдегидные олигомеры [11, 13], карбоксильные бутадиеновые олигомеры [14], акрилаты [15], олигоорганосилоксаны и алкоксисиланы [16, 17] и др.

Введение минеральных добавок является эффективным способом воздействия на структурные параметры растворов исходных и функционализированных эпоксидных смол [11–15, 18–20]. Анализ научной литературы показывает, что минеральные наполнители позволяют улучшать свойства композиционных материалов на основе эпоксидных смол [18–21]. Наиболее часто применяют глины, наноразмерный кремнезем, молотый кварц и др. К сожалению, во многих научных работах проводится анализ влияния того или иного наполнителя на свойства определенного связующего, что не позволяет провести оценку минеральных добавок в сравнении.

⁺ – E-mail: kudina_mpri@tut.by

Целью данной работы является получение композитов и покрытий на основе функционализированной эпоксидной смолы и сравнительный анализ влияния силикатсодержащих наполнителей на физико-механические свойства полученных материалов.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись материалы и покрытия на основе исходной и функционализированной эпоксидной смолы. В качестве эпоксидной смолы использовали эпоксидиановую смолу (ЭС) марки ЭД-20. Для получения композиционных материалов и покрытий на основе эпоксидной смолы в качестве отвердителя применяли полиэтиленполиамин (ПЭПА). Концентрация отвердителя в композиции составляла 10 мас. % от количества ЭС.

Для функционализации эпоксидиановой смолы использовали: фенолоформальдегидную резольную смолу (ФФС, марки СТ 1138, ТУ 6-07-487-95) и бинарный феноло-каучуковый компонент (ФФС+каучук), который представляет собой раствор композиции каучука и модифицированной фенольной смолы в органическом растворителе (ТУ 6-06-246-92). Состав эпоксифенольных композиций варьировали по содержанию ЭС (5–90 %) и функционализирующего компонента (95–10 %).

В качестве дисперсных наполнителей ЭС и комбинированных органических матриц применяли высокодисперсные силикатсодержащие продукты (шунгит, ценосферы и синтезированный железосодержащий гибридный наполнитель на основе эпоксиносилкатной матрицы (Fe-ЭСС)).

Железосодержащий гибридный наполнитель получен по золь-гель технологии из водного раствора силиката натрия, функционализированного эпоксидиановой смолой и сульфатом железа [22]. Содержание органической фазы в продукте составляет 12 %. Синтезированный продукт является композитом, состоящим из химически связанной эпоксидно-силикатной матрицы, в которой диспергированы наноразмерные частицы кремнезема. В гибридную матрицу интеркалировано железо. По данным электронной микроскопии размер гибридных частиц составляет: до 50 нм – 70 %, 50–75 нм – 25 %.

Шунгит является продуктом сложного строения, содержащим 60–70 % углерода и 30–40 % золы (предоставлен лабораторией шунгитов Института Геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск). В золе содержится: 35–50 % SiO_2 , 10–25 % Al_2O_3 , 4–6 % K_2O , 1–5 % Na_2O , 1–4 % TiO_2 , а также примеси других элементов.

Ценосферы представляют собой алюмосиликатные полые микросферы размером 20–500 мкм со сплошными непористыми стенками толщиной от 2 до 10 мкм; образуются при высокотемпературном факельном сжигании каменных углей.

Образцы блочных материалов и покрытий на основе исходной ЭС получали при отверждении композиций на воздухе, а на основе функционализированной ЭС при дополнительной термообра-

ботке при 180 ± 5 °С. Для сравнения получена серия образцов покрытий, на основе ЭС, функционализированной компонентом ФФС+каучук, сформированных при температуре 180 ± 5 °С без введения ПЭПА.

В качестве подложки для нанесения покрытий использовали металлические пластины из стали марки Ст08КП. Перед нанесением покрытия пластины подвергали пескоструйной обработке и обезжириванию. Покрытия на стальных подложках формировали методом полива раствора композиционного материала. После нанесения композиций на подложку образцы выдерживали на воздухе при температуре 18–20 °С в течение 24 ч, после чего термообработывали.

Испытания физико-механических свойств полученных блочных образцов и покрытий проводили через 7 сут. после их формирования.

Анализ физико-механических свойств композиционного материала и покрытий определяли по стандартным методикам. Определение прочности адгезионного соединения покрытие/металл проводили методом решетчатых надрезов (ГОСТ 15410), согласно которому проводится визуальная оценка состояния покрытия по четырехбалльной системе. Микротвердость покрытия на металле оценивали методом Виккерса на микротвердомере ПМТ-3М.

Деформационно-прочностные характеристики блочных образцов (цилиндров) проводили по стандартной методике (ГОСТ 4651) на испытательной машине Instron (США). Объемные образцы готовили в виде цилиндров с диаметром – 12 мм, высотой – $20 \pm 0,5$ мм.

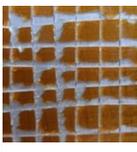
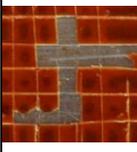
Водостойкость полученных композитов определяли по ГОСТ 4650. Стойкость композитов к воздействию химических сред (30 % раствор H_2SO_4 и 90 % раствор КОН) определяли согласно ГОСТ 12020. Образцы готовили в форме квадрата 50x50 мм. Перед испытанием образцы кондиционировали по ГОСТ 12423 в течение 88 ч при (20 ± 2) °С и относительной влажности (50 ± 5) % при отсутствии влияния света. Температура раствора химического реагента – (20 ± 2) °С.

Обсуждение результатов исследования

Функционализация олигомера ЭС

Экспериментальные исследования показали, что при введении в олигомер эпоксидиановой смолы ФФС или бинарного компонента ФФС+каучук получают агрегативно устойчивые гомогенные композиции в широком диапазоне концентрационных соотношений. Покрытия, формируемые из функционализированной эпоксидной смолы, однородны, обладают хорошей укрывистостью и более эластичны, чем покрытия из исходного реактопласта (табл. 1). Отвержденные композиции на основе бинарного связующего характеризуются более низкими значениями модуля упругости.

Таблица 1 – Влияние функционализации ЭС на свойства покрытий

Свойства	ЭС ¹	Модификатор	
		ФФС	ФФС+каучук
Модуль упругости, ГПа	4,20	3,61	2,02
Адгезия, балл	4	3	3
Поверхность покрытия после испытания методом решетчатых надрезов			

1 – в состав композиции введен ПЭПА в количестве 10 % от количества ЭС

При оптимизации составов и технологических режимов получения покрытий на основе функционализированной эпоксидной смолы установлено, что при формировании покрытий при $T=180\text{ }^{\circ}\text{C}$ качество и характеристики материала улучшаются при уменьшении концентрации ПЭПА в составе композиции. Значительного улучшения качества покрытия отмечено при исключении ПЭПА из состава композиции. При термическом отверждении из композиции формируется гомогенное покрытие без фазового расслоения. В таблице 2 представлены результаты влияния состава композиции на основе ЭС, функционализированной бинарным компонентом ФФС+каучук, на адгезионную прочность покрытия к стали.

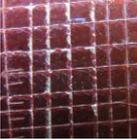
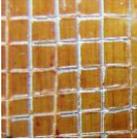
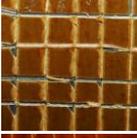
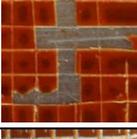
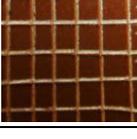
Анализ изменения адгезионной прочности покрытий, полученных на основе ЭС, функционализированной компонентом ФФС+каучук, показали, что более высокой адгезионной прочностью (1 балл) к стали обладают покрытия с содержанием олигомера ЭС до 60 % и сформированные при $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ без ПЭПА. Отверждающим реагентом в данной системе выступает присутствующая ФФС.

Аналогичное влияние составов на адгезионную прочность покрытий, формируемых при дополнительной термообработке, наблюдается и при функционализации ЭС олигомером ФФС.

Изучение деформационно-прочностных свойств объемных образцов позволило установить, что об-

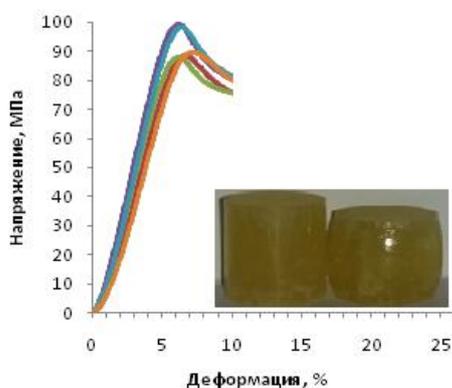
разцы из ЭС разрушаются при деформации 6,0–6,5 %, а образцы из ЭС, функционализированной ФФС+каучук, при 40 % (рисунок). Отмечено, что образцы на основе функционализированной ЭС после снятия напряжения способны восстанавливать практически первоначальный размер, что свидетельствует о значительном повышении упругости материала в сравнении с материалом, полученным на основе исходной ЭС.

Таблица 2 – Влияние функционализации ЭС на адгезионную прочность покрытий

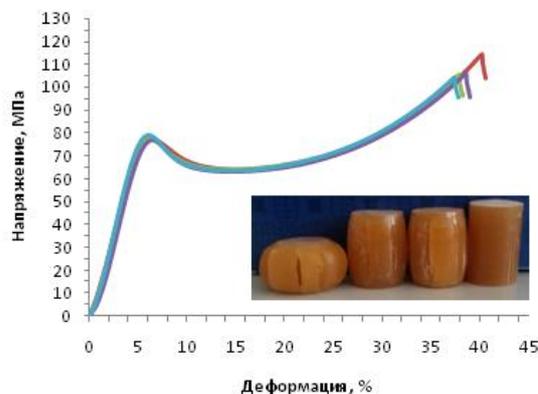
Состав композиции	Соотношение компонентов, %	Адгезионная прочность/ балл
ЭС / ПЭПА	100 / 10 ¹	 / 4
ФФС+каучук	100	 / 2
ЭС / ПЭПА / ФФС+каучук	30–95 / 5 ¹ / 70–5	 / 2
ЭС / ПЭПА / ФФС+каучук	5–30 / 5 ¹ / 95–70	 / 2
	5–30 / 10 ¹ / 95–70	 / 3
ЭС ² / ФФС+каучук	5–60 / 95–40	 / 1

1 – в состав композиции введен ПЭПА в количестве 10 % от количества ЭС

2 – покрытие получено из композиции без ПЭПА



а



б

Рисунок – Зависимость напряжения от деформации при сжатии материала на основе: а – ЭС, б – ЭС/ФФС+каучук

Влияние силикатсодержащих наполнителей на свойства ЭС-связующих.

Формирование на стальных поверхностях покрытий на основе функционализированной эпоксидной смолы наполненной силикатсодержащими продуктами показало, что исследуемые наполнители приводят к улучшению качества покрытия и его свойств: улучшается укрывистость, снижается хрупкость, повышается адгезионная прочность покрытия к стали (табл. 3).

При введении всех исследуемых наполнителей в состав композиций получены покрытия с хорошей адгезией к стали. Для покрытий отмечается небольшое снижение упругости, что обусловлено присутствием в материале дисперсных частиц наполнителя.

В таблице 4 приведены результаты исследования влияния наполнителей на физико-механические свойства композитов, полученных на основе исходной и функционализированной эпоксидной смолы.

Таблица 3 – Влияние наполнителей на свойства покрытий на основе ЭС¹/ФФС

Наполнитель	Концентрация наполнителя, %	Вид покрытия	Адгезионная прочность покрытие/сталь, балл	Эластичность по отскоку, %	Модуль упругости, ГПа
Без наполнителя	–		1	6,7	1,11
Шунгит	1		1	5,2	2,12
	3		1	5,7	2,19
Ценосферы	1		1	6,4	2,04
	3		1	5,2	2,18
Fe-ЭСС	1		1	6,8	2,14
	3		1	5,0	2,07

1 – для покрытия на основе исходной ЭС: эластичность по отскоку – 20,85 %, модуль упругости – 4,2 ГПа

Таблица 4 – Влияние наполнителя на физико-механические свойства материала

Наполнитель		Матрица ¹			
		ЭС		ЭС/ФФС+каучук	
Вид	Концентрация, %	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	Вид образца после разрушения	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	Вид образца после разрушения
Без наполнителя		92,7		101,5	
Шунгит	1 %	121,9		98,7	
	3 %	124,1		102,5	
Ценосферы	1 %	105,8		98,9	
	3 %	61,1		103,9	
Fe-ЭСС	1 %	117,4		97,4	
	3 %	112,2		106,5	

1 – в состав композиции введен ПЭПА в количестве 10 % от количества ЭС

Введение наполнителей в ЭС приводит к повышению хрупкости материала. Однако функционализация ЭС позволяет перейти от хрупкого разрушения материалов к упруго-пластичной деформации. Наполнение комбинированной матрицы силикатсодержащими компонентами не приводит к охрупчиванию композитов и не ухудшает их пластичных свойств.

Анализ полученных данных показал, что введение исследуемых дисперсных силикатсодержащих наполнителей приводит к увеличению прочности композитов: шунгит – до 34 %, эпоксиликат железа – до 27 %, ценосферы – до 14 %. Наблюдаемый рост физико-механических показателей связан с микродисперсионным упрочнением матрицы. Наибольшее повышение прочности композита при введении шунгита, видимо, обусловлено составом данного наполнителя. Повышение прочности композита при введении наноразмерного Fe-ЭСС связано с химическим сродством наполнителя к эпоксидному олигомеру. Следует отметить, что увеличение содержания наполнителей в композите более 3 % не приводит к дальнейшему повышению прочности композита. Кроме этого, при введении шунгита и ценосфер при дальнейшем повышении концентрации наполнителя в композите прочность значительно падает.

Введение наполнителей в функционализированное связующее приводит к упрочнению комбинированной матрицы до 5 %. Снижение упрочняющего действия наполнителей возможно связано с повышением эластичных свойств комбинированной матрицы вследствие функционализации ЭС.

Изучение микротвердости наполненных композиций показало, что введение наполнителей приводит к повышению показателя (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние наполнителя на микротвердость материала¹

Наполнитель		Микротвердость, мПа	
Вид	Концентрация, %	ЭС	ЭС/ФФС+каучук
Без наполнителя		14,3	17,9
Шунгит	1	14,8	15,6
	3	17,9	14,6
Ценосферы	1	18,5	21,1
	3	18,6	18,7
Fe-ЭСС	1	17,1	17,6
	3	18,5	18,4

¹ – в состав композиции введен ПЭПА в количестве 10 % от количества ЭС

Анализ изменения микротвердости композиций показывает, что функционализация ЭС приводит к некоторому повышению микротвердости органической матрицы. По-видимому, при введении компонента ФФС+каучук в эпоксидный олигомер при отверждении комбинированного связующего происходит полимеризация компонентов с образованием межмолекулярных связей между образующимися полимерными матрицами, что приводит к повышению степени отверждения и твердости композиций.

Анализ влияния наполнителей на микротвер-

дость композиций на основе ЭС показал, что введение ценосфер приводит к повышению микротвердости до 30 %, эпоксиликата железа – до 29 %, шунгита – до 28 %.

Функционализация ЭС фенолокаучуковым компонентом позволяет увеличить микротвердость композита до 25 %. Введение наполнителей приводит к дополнительному повышению микротвердости образцов, полученных на основе ЭС/ФФС+каучук: ценосферы – до 18 %, а эпоксиликата железа – до 3 %. Введение же в состав комбинированного связующего шунгита снижает микротвердость до 3 %.

В таблице 6 приведены результаты испытаний водопоглощения образцов на основе наполненной ЭС. Анализ результатов водопоглощения образцов показывает, что наполнение эпоксидной смолы снижает водопоглощения по сравнению с ненаполненным образцом при выдержке образцов в воде в течение 1 суток – на 12–17 %, 10 суток – на 26–35 %, а 100 суток – на 4–11 %. Причем наибольший эффект отмечается при использовании в качестве наполнителя ценосфер. Снижение сорбции воды образцами, наполненными ценосферами, по-видимому, связано с градиентным распределением частиц наполнителя в объеме материала, обуславливающим повышение концентрации полых сфер на поверхности образца.

Таблица 6 – Водопоглощение композитов на основе ЭС¹

Наполнитель (концентрация наполнителя 1 %)	Изменение массы, %		
	1 сут.	10 сут.	100 сут.
Без наполнителя	0,28	0,73	1,53
Шунгит	0,28	0,58	1,47
Ценосферы	0,24	0,55	1,38
Fe-ЭСС	0,25	0,54	1,47

¹ – в состав композиции введен ПЭПА в количестве 10 % от количества ЭС

Анализ образцов, полученных на основе ЭС, функционализированной ФФС+каучук, показал, что как функционализация эпоксидного олигомера, так и введение в комбинированную матрицу силикатсодержащих наполнителей, приводит к повышению сорбции воды (табл. 7).

Таблица 7 – Водопоглощение композитов на основе матрицы ЭС¹/ФФС+каучук

Наполнитель (концентрация наполнителя 1 %)	Изменение массы, %		
	1 сут.	10 сут.	100 сут.
Без наполнителя	0,34	1,11	3,24
Шунгит	0,54	1,23	3,33
Ценосферы	0,51	2,2	3,82
Fe-ЭСС	0,48	1,55	3,94

¹ – в состав композиции введен ПЭПА в количестве 10 % от количества ЭС

Наполнение комбинированного связующего приводит к повышению водопоглощения по сравнению с ненаполненным образцом при выдержке образцов в воде в течение 1 суток на 35–41 %, 10

суток – на 11–98 %, а 100 суток – на 3–22 %. Наименьшее водопоглощение показал композит, наполненный шунгитом.

Сравнительный анализ полученных данных свидетельствует, что образцы материала на основе ЭС обладают более выраженными гидрофобными свойствами, чем материалы на основе ЭС/ФФС+каучук. При длительной выдержке образцов в воде изменение массы у образцов на основе ЭС/ФФС+каучук почти в два раза выше, чем у образцов на основе ЭС. Однако изменений линейных параметров и внешнего вида образцов, подвергнутых испытаниям на водопоглощение, не происходит.

В таблице 8 приведены результаты воздействия агрессивных сред на композиты на основе ЭС в зависимости от типа введенного наполнителя. Наиболее эффективным наполнителем, способствующим повышению устойчивости композита агрессивным средам, является шунгит.

Функционализация ЭС снижает устойчивость комбинированной матрицы к воздействию агрессивных сред (табл. 9). Введение наполнителей приводит к дальнейшему снижению устойчивости материала к воздействию серной кислоты и несколько ингибирует процесс разрушения материала при воздействии щелочи.

Анализ полученных данных показывает, что изменение массы образцов на основе ЭС при выдержке в различных химических средах значительно меньше, чем образцов на основе ЭС/ФФС+каучук. В средах H_2SO_4 и КОН кинетика разрушения образцов на основе ЭС/ФФС+каучук в 1,5–2 раза выше, чем у образцов на основе ЭС.

По истечении 3 месяцев испытаний в химической среде провели визуальную оценку внешнего вида образцов путем сравнения с образцами, не подвергшимися испытанию. У образцов, подвергнутых воздействию химических сред, не наблюдали изменения цвета и блеска, отмечено полное отсутствие трещин и пузырей.

Выводы

Таким образом, улучшение физико-механических свойств композиционных материалов на основе эпоксидиановой смолы может быть получено при использовании двух технологических приемов: 1 – функционализации исходного связующего с получением комбинированных матриц, 2 – модифицировании связующего силикатсодержащими наполнителями.

Функционализация эпоксидиановой смолы ЭД-20 фенолоформальдегидной смолой или бинарным феноло-каучуковым компонентом позволяет получить композиции с более высокими значениями адгезии к подложке, а также придать материалу упругие свойства.

Введение силикатсодержащих наполнителей в эпоксидную смолу обеспечивает упрочнение до 34 % и рост микротвердости материала до 30 %. Применение силикатсодержащих наполнителей в комбинированном связующем позволяет увеличить механическую прочность материала при сжатии до 5 % без ухудшения эластичности материала. Применение в составе покрытия на основе ЭС или комбинированных связующих гибридных наполнителей приводит как к повышению прочности адгезии материала к поверхности стали, так и улучшению эксплуатационных характеристик. Введение в композиты исследуемых силикатсодержащих наполнителей позволило улучшить их физико-механические характеристики. Однако эффективность наполнителя следует оценивать применительно к изменению определенной характеристики материала. Возможно, введение нескольких наполнителей в один материал позволит достигнуть улучшения всех физико-механических характеристик одновременно.

Автор выражает благодарность к.т.н. Виндиктовой Н.С., ст. научн. сотруднику ИММС НАН Беларуси, за подготовку образцов для проведения физико-механических испытаний.

Таблица 8 – Влияние агрессивной среды на композиты на основе ЭС¹

Наполнитель (концентрация наполнителя 1 %)	Изменение массы, % (в среде H_2SO_4 (30 %))			Изменение массы, % (в среде КОН (90 %))		
	1 сут.	10 сут.	100 сут	1 сут	10 сут.	100 сут
Без наполнителя	0,39	0,58	1,17	0,34	0,37	0,75
Шунгит	0,26	0,48	0,96	0,45	0,33	0,68
Ценосферы	0,29	0,55	1,16	0,43	0,39	0,83
Fe-ЭСС	0,37	0,59	1,13	0,31	0,44	0,84

¹ – в состав композиции введен ПЭПА в количестве 10 % от количества ЭС

Таблица 9 – Влияние агрессивной среды на композиты на основе ЭС¹/ФФС+каучук

Наполнитель (концентрация наполнителя 1 %)	Изменение массы, % (в среде H_2SO_4 (30 %))			Изменение массы, % (в среде КОН (90 %))		
	1 сут.	10 сут.	100 сут	1 сут	10 сут.	100 сут
Без наполнителя	0,39	0,77	1,81	0,55	0,59	1,16
Шунгит	0,61	0,94	2,26	0,34	0,55	1,22
Ценосферы	0,5	1,00	2,09	0,52	0,7	1,78
Fe-ЭСС	0,46	1,05	2,05	0,34	0,62	1,69

¹ – в состав композиции введен ПЭПА в количестве 10 % от количества ЭС

Обозначения

ЭС – эпоксидно-диановая смола, ПЭПА – полиэтиленполиамин, ФФС – фенолоформальдегидная смола, ФФС/каучук – бинарный фенолокаучуковый компонент, Fe-ЭСС – железосодержащий гибридный наполнитель на основе эпоксидно-силикатной матрицы.

Литература

- Wei-Gang, Ji. Reducing the water absorption in epoxy coating by silane monomer incorporation / Wei-Gang Ji [et al.] // Corrosion Science. – 2006. – V.48. – P. 3731–3739.
- Lee, M.C. Water transport in epoxy-resins / Lee M.C., Peppas N.A. // Prog. Polym. Sci. – 1993. – V. 18. – P. 947–961.
- Popineau, S. Simple model to estimate adhesion of structural bondings during humid ageing / Popineau S., Shanahan M.E.R. // International Journal of Adhesion & Adhesives. – 2006. – V.26. – P. 363–370.
- Bajat, J. Adhesion and corrosion resistance of epoxy primers used in the automotive industry / Bajat J., Dedi O. // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2007. – V. 21. – P. 819–831.
- Mafi, R. Effect of curing characterization on the corrosion performance of polyester and poly-ester/epoxy powder coatings / Mafi R. [et al.] // Corros.Sci. – 2008. – V. 50. – P. 3280–3286.
- Worsley, D.A. Mechanistic changes in cutedge corrosion induced by variation of organic coating porosity / Worsley D.A., Williams D., Ling J.S.G. // Corros. Sci. – 2001. – V. 43. – P. 2335–2348.
- Protecting and Maintaining Transmission Pipeline. – Technology Publishing Company. Pittsburg, PA, 2012. – 76 p.
- Potter, W.G. Epoxy resins. – New York: Spriger, 1970. – 139 p.
- Kinjo, N. Epoxy molding compounds as encapsulation materials for microelectronic devices / Kinjo N., Ogata K., Keneda A. // Adv. Polym. Sci. – 1989. – No. 88. – P. 1–48.
- Кудина, Е.Ф. Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Часть 1. Полимерные материалы (обзор) / Е.Ф. Кудина // Нефтяник полярья. – 2013. – №2 (24). – С. 88–93.
- Protective coatings based on thermosetting plastics / H. Kudina [et al.] // Innovative Solutions in Repair of Gas and Oil Pipelines / Ed. by E. Barkanov, M. Mikovski and V. Sergienko. – Sofia: Bulgarian Society for Non-destructive Testing Publishers, 2016. – Ch. V. – Pp. 55–74.
- Свойства эпоксидиановых связующих, модифицированных полиметилена-п-трифенилборатом и наночастицами различной природы / Е.С. Ананьева [и др.] // Ползуновский вестник. – 2013. – №1. – С. 59–66.
- Химическая модификация эпоксидных полимеров / Л.Г. Шодэ [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1996. – Т. 12. – С. 6–15.
- Влияние мелкодисперсных наполнителей на износ эпоксидных и эпоксидно-каучуковых полимеров / В.В. Золотарева [и др.] // Современные строительные материалы. – 2013. – Вып.1 (99). – С. 108–113.
- Synthesis and characterization of silica-acrylic-epoxy hybrid coatings on 430 stainless steel / H.B. Lu [et al.] // Surface and Coatings Technology. 2009. – Vol. 204. – P. 91–98.
- Two-part epoxy-siloxane hybrid corrosion protection coatings for carbon steel / Min Qian [et al.] // Thin Solid Films. – 2009. – Vol. 517. – Pp. 5237–5242.
- Thermodegradation kinetics of a hybrid inorganic-organic epoxy system / L. Barral [et al.] // European Polymer Journal. – 2005. – N41. – pp. 1662–1666.
- Kudina, E.F. Use of Nano-Structured Modifiers to Improve the Operational Characteristics of Pipelines' Protective Coatings / E.F. Kudina, E. Barkanov, N.S. Vinidiktova // Glass Physics and Chemistry. – 2016. – Vol.42, No.5. – Pp. 512–517.
- Хозин, В.Г. Усиление эпоксидных полимеров / Г. Хозин. – Казань: ПИК «Дом печати», 2004. – 446 с.
- Bagherzadeh, M.R. Preparation of epoxy-clay nanocomposite and investigation on its anti-corrosive behavior in epoxy coating / M.R. Bagherzadeh., F. Mahdavi // Progress in Organic Coatings. – 2007. – Vol. 60. – P. 117–120.
- Влияние ультрадисперсных наполнителей на свойства низкомолекулярных жидкостей и композиций на основе эпоксидных олигомеров / А.А. Пыхтин [и др.] // Вестник МИТХТ. – 2013. – Т. 8, №4. – С. 113–117.
- Kudina, E.F. Synthesis and Properties of Dispersed Hybrid Materials Based on a Silicate Matrix / H.F. Kudina // Glass Physics and Chemistry. – 2012. – Vol. 38, № 1. – P. 172–179.

Kudina E.F.

Influence of silicate containing fillers on properties of composites based on functionalized epoxy resin

The influence of functionalizing of epoxy resin, phenol-formaldehyde resin and binar phenol-rubber components on physical and mechanical characteristics of composites and coatings on their base was investigated. It was shown that the loading of silicate containing fillers such as cenospheres, schungites and synthesized ferrum containing hybrid fillers on the base of epoxy silicate matrix in to functionalized epoxy resin increases the compression strength and microhardness of the composites as well as adhesion of the coating to steel.

Keywords: epoxy-diane resin, functionalization, silicate containing fillers, composite, coating, steel, properties.

Поступила в редакцию 14.06.2017.

© Е.Ф. Кудина, 2017