

Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», задание 4.1.16 «Разработка функциональных композиционных материалов технического назначения для защиты металлических поверхностей и оборудования» (2021–2025 гг.).

Список литературы

- 1 **Кудина, Е.Ф.** Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Ч. 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Нефтяник полесья. – 2013. – № 2 (24) – С. 88–93.
- 2 Review on Materials for Composite Repair Systems / V. P. Sergienko [et al.] // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / ed. by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. – Springer International Publishing, 2018. – P. 189–269. – ISBN: 978-3-319-56579-8.
- 3 **Кудина, Е.Ф.** Структура и свойства композиционных материалов на основе реактопластов / Е. Ф. Кудина // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : материалы 14-й Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию порошковой металлургии Беларуси, Минск, 09–11 сентября 2020 года. – Минск : Белорусская наука, 2020. – С. 220–224. – EDN CCTTGB.
- 4 Методы химической модификации эпоксидных олигомеров (обзор) / А. Г. Загора [и др.] // Труды ВИАМ. – 2021. – № 7 (101). – С. 73–85. – DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-7-73-85. – EDN PQCSJR.
- 5 **Kudina, H. F.** Composite Materials Intended to Repair Mechanochemical Defects in Pipelines / H. F. Kudina, S. N. Bukharov, V. P. Sergienko // Advances in Engineering Research / ed. by V. M. Petrova. – New York : Nova Science Publishers, Inc., 2019. – Vol. 26. – Chapter 3. – P. 107–172. – ISBN: 978-1-53614-714-8.

УДК 620.197:621

ИЗОЛЯЦИОННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ МАТРИЦЫ

Е. Ф. КУДИНА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель;
Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

И. В. ПРИХОДЬКО, П. А. КУРИЦЫН, Г. Р. ГОНЧАРОВ, И. П. СМОЛЯКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Е. В. РИТТЕР

ТОО «Электровозсборочный завод» (ЭКЗ), г. Астана, Республика Казахстан

При создании композиционного материала (КМ) первоочередное значение отводится матрице, которая обеспечивает монолитность материала и обуславливает его основные свойства. Наиболее распространенными видами применяемых в настоящее время реактопластов являются: фенопласты, аминопласты и эпоксипласты. В отличие от терморезактивных полимеров на основе полиэфирных, фенолформальдегидных, мочевино- и меламиноформальдегидных смол, которые могут выделять из материалов токсичные и канцерогенные вещества, эпоксиполимеры практически не выделяют вредных веществ и не имеют запаха в отвержденном состоянии, что определяет их использование как наиболее перспективное среди высокомолекулярных соединений. Связующие на основе эпоксидных смол отличаются широким комплексом физико-механических показателей, которые относятся к наиболее востребованным среди других полимеров с точки зрения применения в производстве клеев, лаков, покрытий, для заливки небольших трансформаторов или узлов аппаратуры, а также изделий различного функционального назначения [1].

Эпоксидные смолы (ЭС) совместимы с большим количеством полярных органических веществ и хорошо смачивают поверхности разных наполнителей, что позволяет широко варьировать свойства модифицированных композиционных материалов (КМ). Наиболее перспективными представляются модификаторы, обладающие синергетическим эффектом и способные встраиваться в эпоксидную матрицу и улучшать свойства КМ в целом. Наиболее эффективны модифицирующие вещества, которые не образуют побочных продуктов реакции и не выделяют летучих веществ в процессе эксплуатации материала на протяжении всего срока службы [2, 3]. Важным компонентом материалов на основе ЭС, помимо модификаторов, является отвердитель. Наиболее применяемым отвердителем является полиэтиленполиамин, обеспечивающий качественное отверждение ЭС.

На практике ЭС не совместима с водными растворами. Это в значительной степени снижает физико-механические характеристики создаваемого КМ, делая изделия хрупкими, вследствие образования неоднородной структуры. Как показали результаты исследований при определенных сочетаниях спиртового раствора ПВБ с отвержденной ПЭПА ЭД-20 можно получить материал с хорошими эксплуатационными характеристиками. Введение модификатора в соотношении 1:8 при оптимизированном сочетании компонентов ЭД-20 ($71,5 \pm 0,5 \%$), ПЭПА ($14,5 \pm 0,5 \%$), раствор ПВБ ($14,5 \pm 0,5 \%$) позволило получить материал, который можно использовать в качестве изоляционного покрытия. Проведение оптимизации содержания отвердителя показало, что его концентрация неоднозначно отражается на качестве КМ, однородности и времени отверждения. При выборе оптимального состава следует учесть, что количество отвердителя в составе не должно превышать 20 %, поскольку при полимеризации при стандартных условиях протекает бурная реакция, сопровождающаяся выделением большого количества тепла. Температура образца повышается более чем на $100 \text{ }^\circ\text{C}$, что приводит к закипанию этанола и дополнительному образованию пузырей, которые в разной степени распределяются по всему объему материала, и делает его непригодным для формирования защитного покрытия. При содержании ПЭПА менее 17 % пузырчатая структура, обусловленная повышением температуры формирования КМ, образуется в меньшей степени. В структуре образца присутствуют отдельные полости больших размеров, что повышает хрупкость материала и негативно отражается на его качестве. Введение отвердителя менее 11 % в КМ позволяет сформировать образец с наименьшим содержанием неоднородностей, однако значительно замедляет процесс полимеризации КМ. Оптимальный состав с максимальной однородностью структуры соответствует содержанию отвердителя в количестве $14,0 \pm 0,5 \%$ от общей массы состава.

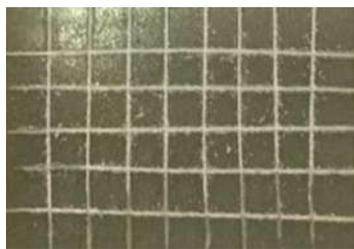


Рисунок 1 – Определение адгезии методом решетчатого надреза

Из составов с содержанием ПЭПА от 11 до 17 % получали покрытия на металлической подложке, которые исследовали на адгезионную прочность к металлу методом решетчатого надреза. Покрытия обладают хорошей адгезионной прочностью. В сравнении с составами с различным содержанием отвердителя наиболее высокое качество покрытия показал образец с сочетанием компонентов ЭД-20 ($71,5 \pm 0,5 \%$), ПЭПА ($14,5 \pm 0,5 \%$), раствор ПВБ ($14,5 \pm 0,5 \%$) (рисунок 1), поскольку на остальных образцах образуются небольшие сколы в некоторых местах надреза ввиду большей хрупкости композитов.

Важным направлением в электротехнике является изоляция деталей и оборудования покрытиями из полимерных КМ. Такие материалы должны обладать высокими диэлектрическими и механическими свойствами, а также сохранять их в условиях воздействия климатических факторов при заданных рабочих электрических параметрах. Результаты исследований позволяют сделать вывод о получении качественных изоляционных покрытий. Высокие значения объемного удельного сопротивления позволяют судить о возможности их использования в качестве диэлектрических покрытий высоковольтного оборудования. Как показано на рисунке 2, максимальное значение удельного объемного сопротивления разработанного покрытия составило 53 ГОм·см. По сравнению с покрытием на основе исходной ЭС отвержденной ПЭПА (100 ГОм·см) [4] значение параметра уменьшилось, но незначительно и мало влияет на изоляционные свойства материала. Изучение адгезионной прочности покрытия показало, что введение модификатора снижает хрупкость покрытия.

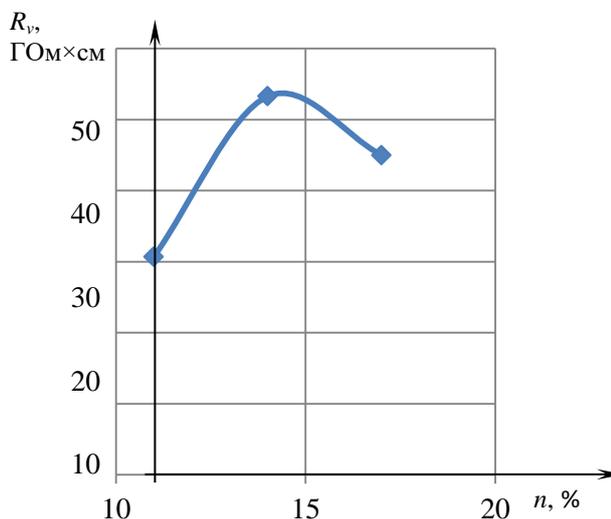


Рисунок 2 – Зависимость удельного объемного сопротивления (R_v) от содержания ПЭПА (n)

Изучение адгезионной прочности покрытия показало, что введение модификатора снижает хрупкость покрытия.

Таким образом, оптимизация концентрационного соотношения модификатора и отвердителя в составе КМ позволила получить композиционное покрытие, которое обладает хорошими адгезионными свойствами. Установлен экстремальный характер зависимости удельного объемного электрического сопротивления материалов от концентрации вводимого отвердителя. Зависимость удельного объемного электрического сопротивления от концентрации отвердителя имеет экстремальный характер с максимумом отвердителя в диапазоне 13,5–14,5 %.

Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», задание 4.1.16 «Разработка функциональных композиционных материалов технического назначения для защиты металлических поверхностей и оборудования» (2021–2025 гг.).

Список литературы

- 1 Review on Materials for Composite Repair Systems / V. P. Sergienko [et al.] // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / ed. by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. – Springer International Publishing, 2018. – P. 189–269.
- 2 Кудина, Е. Ф. Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Ч. 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Нефтяник полярья. – 2013. – № 2 (24). – С. 88–93.
- 3 Кудина, Е. Ф. Получение и свойства комбинированных эпоксидных покрытий / Е. Ф. Кудина // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2017. – № 4. – С. 11–25.
- 4 Абакаров, С. А. Электропроводность эпоксидных полимеров, наполненных наночастицами SiO₂ / С. А. Абакаров, Г. М. Магомедов, М-З. Р. Магомедов // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. – 2007. – № 1. – С. 1–5.

УДК 629.3/504.6

МЕТОДОЛОГИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ РЕЙТИНГОВ ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

С. В. ЛЯХОВ, И. П. ГОНЧАРОВ

*Белорусский научно-исследовательский институт транспорта
(БелНИИТ «Транстехника»), г. Минск*

Считается, что одной из причин, стимулирующих выпуск электромобилей, является стремление стран снизить экологические последствия от использования автомобилей на ископаемом топливе (влияние парниковых газов на климат Земли). Электромобили всех категорий уже сокращают потребление 1,5 миллиона баррелей нефти в день, что соответствует сокращению потребления 3 % автомобильного углеродного топлива [1]. Однако не существует электромобилей, не оставляющих углеродный след. Потребители должны иметь возможность сравнивать выбросы парниковых газов от автомобилей, для чего нужны рейтинги. Это является важным фактором конкуренции. Методология оценки углеродного следа электромобилей имеет разные уровни сложности, от просто аналитических методов до методов учета максимального количества факторов, включая производство и утилизацию аккумуляторных батарей.

Уровень 1. Наиболее широко известным является аналитический рейтинг, представленный в [2]. Рейтинг разработан исследовательской службой BloombergNEF и используется для проведения сравнительного анализа углеродного следа исключительно электромобилей.

Рейтинг углеродного следа определяется по формуле [2]

$$R = 100 \left(\frac{0,7L}{mk} + \frac{0,3C_{\min}}{C_B} \right),$$

где L – запас хода, миль, определенный ЕРА (Агентство по охране окружающей среды США); m – снаряженная масса электромобиля, фунтов; k – эталонный коэффициент экономичности, $k = 0,1099$, принимается на 10 % больше, чем у самого эффективного электромобиля; C_{\min} – эталонная емкость аккумуляторной батареи, кВт·ч, $C_{\min} = 29,34$ кВт·ч, что на 10 % меньше, чем у самой маленькой аккумуляторной батареи электромобиля на рынке; C_B – емкость аккумуляторной батареи электромобиля, кВт·ч; 0,7 – доля углеродного следа, приходящаяся на зарядку электромобиля в