

# КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ РЕАКТОПЛАСТОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

**Е. Ф. Кудина<sup>1,2</sup>, И. В. Приходько<sup>1</sup>,  
П. А. Курицын<sup>1</sup>, Г. Р. Гончаров<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет транспорта,  
г. Гомель, Беларусь*

*<sup>2</sup>Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого  
НАН Беларуси, г. Гомель, Беларусь, e-mail: kudina\_mpri@tut.by*

Современную машиностроительную и транспортную отрасли достаточно трудно представить без использования композиционных материалов. Благодаря своим высоким диэлектрическим и физико-механическим свойствам широкое применение в конструкциях несущих элементов электрооборудования получили композиционные материалы на основе реактопластов, таких как эпоксидные (ЭД) и фенолоформальдегидные (ФФС) смолы [1, 2]. Материалы на основе данных смол также достаточно эффективны для получения защитных покрытий от коррозионно-механических повреждений [3, 4]. Однако они имеют ряд недостатков (низкая стойкость к катодному отслаиванию и сравнительно небольшая ударная прочность), которые значительно снижают эксплуатационные характеристики защитного покрытия [1, 4]. В результате этого проблема создания новых высокоэффективных конструкционных и защитных составов остается актуальной задачей и требует разработки новых материалов с широким диапазоном характеристик. С учетом областей применения полимерных композиционных материалов, свойства, характеризующие матрицы, можно разделить на три группы. К первой группе можно отнести жесткость, прочность, теплоустойчивость полимерной матрицы; ко второй – пластичность, ударную вязкость, трещиностойкость; к третьей – перерабатываемость и технологичность связующего. Таким образом, выбор полимерной матрицы определяет возможность сочетания связу-

ющего элемента с наполнителями и отвердителями, а также условия и технологические особенности получения композитов на их основе.

Применение отвердителя не является обязательным условием формирования композиционного материала, так как смолы при определенных сочетаниях способны к самосшиванию полимерной матрицы. Для получения композиционного материала в данном исследовании использовали эпоксидную смолу марки ЭД-20, отвержденную фенолоформальдегидной смолой. Проведенный комплекс исследований по оптимизации компонентного состава в части диэлектрических свойств позволил установить наиболее оптимальное сочетание компонентов: 55 % ЭД и 45 % ФФС (рис. 1, график 2). Данное соотношение компонентов обусловлено тем, что у композита с большим содержанием ФФС снижаются диэлектрические свойства (рис. 1, график 3), с увеличением содержания ЭД диэлектрические свойства остаются стабильно высокими (рис. 1, график 1), однако, значительно возрастает хрупкость. Оптимизированный состав композита обладает высоким электрическим сопротивлением (до 2 ТОм) при нормальных климатических условиях. С ростом температу-

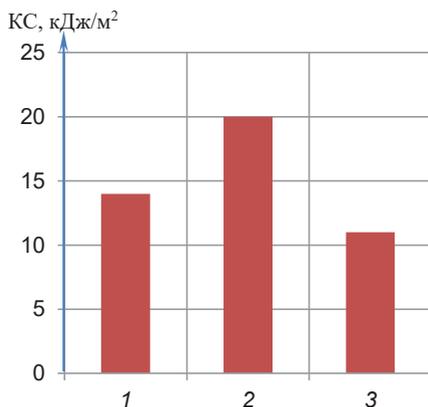


Рис. 1. Ударная вязкость различных составов (1–3) при нормальных климатических условиях

ры значительно снижается величина электрического сопротивления изоляции (рис. 2).

При температуре 60 °С, соответствующей условиям размещения аппаратов вблизи источников сильного дополнительного нагрева на электроподвижном составе, сопротивление изоляции постоянному току составляет 0,78 ГОм, что свидетельствует об удовлетворительных диэлектрических свойствах композиционного материала (55 % ЭД и 45 % ФФС). В свою очередь, ударная вязкость полученного композиционного материала при нормальных климатических условиях составляет 20 кДж/м<sup>2</sup>, что указывает на устойчивость к воздействию ударных напряжений и возможность применения на отдельных элементах электроподвижного состава в качестве конструкционного материала.

Оптимальное сочетание эпоксидной и фенолоформальдегидной смол позволяет получить композиционный материал без дополнительного введения отвердителя, обладающего приемлемыми физико-механическими свойствами. При введении в бинарный композит функционально активных компонентов возможно

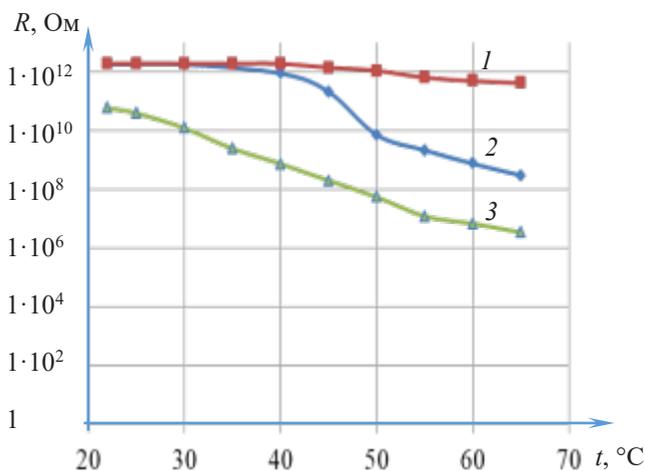


Рис. 2. Электрическое сопротивление изоляционного материала в зависимости от состава: 1 – ЭД (60 %), ФФС (40 %); 2 – ЭД (55 %), ФФС (45 %); 3 – ЭД (40 %), ФФС (60 %)

получение гомогенных многокомпонентных органических композиций, которые не коагулируют и агрегативно устойчивы во времени. Полученный композит обладает более высокой адгезионной прочностью к металлическим поверхностям, чем исходные связующие.

## Литература

1. Кудина, Е. Ф. Защита газонефтепроводов от внешних повреждений. Часть 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. – Cham : Springer International Publishing, 2018. – P. 269–189.
3. Химическая модификация эпоксидных полимеров / Л. Г. Шодэ [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1996. – Т. 12. – С. 6–15.
4. Кудина, Е. Ф. Получение и свойства комбинированных эпоксидных покрытий / Е. Ф. Кудина // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2017. – № 4. – С. 11–25.

## ПОЛУЧЕНИЕ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $(\text{Nb}_{(1-x)}\text{Zr}_x)\text{B}_2$

**В. В. Курбаткина, Е. И. Пацера, Д. А. Сидоренко,  
Т. А. Свиридова, П. А. Логинов, Е. А. Левашов**

*Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС», г. Москва, Россия*

Развитие современных технологий аэрокосмической и атомной отраслей промышленности требует создания новых материалов, способных сохранять высокие физико-механические характеристики и работоспособность при экстремально высоких температурах. Для решения таких задач используют тугоплавкие бориды  $\text{ZrB}_2$ ,  $\text{TaB}_2$ ,  $\text{HfB}_2$  и  $\text{NbB}_2$ , обладающие уникальным комплексом физико-механических свойств: высокими температурой плавления, твердостью, тепло- и электропроводностью,