

При поддержке:



МИНЭКОНОМРАЗВИТИЯ  
РОССИИ



МИНКОМСВЯЗЬ  
РОССИИ



СОЦИАЛЬНЫЕ  
ПРОЕКТЫ  
и программы



# ПРЕМИЯ В ОБЛАСТИ ИННОВАЦИЙ «ВРЕМЯ ИННОВАЦИЙ — 2012»

[www.novpro.org](http://www.novpro.org)

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР



РИА НОВОСТИ

ОФИЦИАЛЬНОЕ ON-LINE PR-АГЕНТСТВО

pr|online

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ



Top Builder

КОМПАНИЯ

БИЗНЕС  
журнал



NewScientist



*Е.В. КОРОЛЕВ и др. Наномодифицированные композиты с термопластичной матрицей*

УДК 691.335-022.532

**КОРОЛЕВ Евгений Валерьевич**, д-р техн. наук, проф., директор научно-образовательного центра по направлению «Нанотехнологии»<sup>1</sup>;

**СМИРНОВ Владимир Алексеевич**, канд. техн. наук, доц., ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра по направлению «Нанотехнологии»<sup>1</sup>;

**АЛЬБАКАСОВ Азамат Илькинович**, канд. техн. наук, доц. кафедры сопротивления материалов, декан архитектурно-строительного факультета<sup>2</sup>

**KOROLEV Evgenij Valerjevich**, Doctor of Engineering, Professor, Director of the Research and Educational Center «Nanotechnology»<sup>3</sup>;

**SMIRNOV Vladimir Alexeevich**, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Leading Research Officer of the «Nanotechnology» Research and Educational Center<sup>3</sup>;

**ALBAKASOV Azamat Ilkinovich**, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Dean of the Department of Architecture and Construction<sup>4</sup>

---

## НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ КОМПОЗИТЫ С ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ МАТРИЦЕЙ<sup>5</sup>

### NANOMODIFIED COMPOSITES WITH THERMOPLASTIC MATRIX<sup>5</sup>

---

Обсуждается проблема выбора вяжущего для строительных композитов, эксплуатирующихся в условиях воздействия агрессивных сред. Предлагается метод повышения показателей эксплуатационных свойств, включающий синтез наноразмерных новообразований на межфазной границе. Приводятся отдельные результаты исследования показателей свойств наномодифицированных композитов с термопластичной матрицей.

Selection of binder for construction composites exposed to aggressive environments is discussed. The innovative method of nanomodification is offered. The method is realized by means of nanoscale objects synthesis on interphase boundaries. Properties of nanomodified composites with thermoplastic matrix are investigated, and some results of the investigation are presented.

---

<sup>1</sup> Московский государственный строительный университет, Россия;

<sup>2</sup> Оренбургский государственный университет, Россия;

<sup>3</sup> Moscow State University of Civil Engineering, Russian Federation;

<sup>4</sup> Orenburg State University, Russian Federation;

<sup>5</sup> Работа подготовлена при поддержке ГК 16.518.11.7080 от 26.08.2011 г.

**Ключевые слова:** серный композит, низкомолекулярный каучук, наномодифицирование.

**Key words:** sulfur composite, rubber of low molecular weight, nanomodification.

**М**ноголетняя практика применения вяжущих веществ, на основе которых изготавливаются разнообразные строительные материалы, а также разносторонние научные исследования позволили сформулировать требования к их качеству. Вяжущие для композитов, эксплуатирующихся в сложных условиях (радиационные воздействия, химически активные среды и др.), должны удовлетворять ряду дополнительных требований [1].

Многообразие исходных компонентов композиционных материалов с полимерной матрицей является одной из предпосылок улучшения показателей эксплуатационных свойств и, как следствие, успешного их применения в качестве функциональных материалов в строительстве [2]. Основными факторами, сдерживающими широкое распространение полимерных композиционных материалов в строительной отрасли, являются высокая стоимость и/или повышенная сложность производства изделий.

Серные композиционные материалы являются композиционными материалами с термопластичной матрицей, при изготовлении которых в качестве вяжущего используется сера. Отмеченные для полимерных композиционных материалов недостатки серным композитам не присущи. К положительным свойствам серных композитов относятся: технологичность серобетонных и растворных смесей; быстрый набор прочности, связанный только с периодом остывания и кристаллизации серы; относительно высокая прочность; практически универсальная стойкость к действию агрессивных сред; низкое водопоглощение и, следовательно, высокая морозо- и водостойкость.

Возможности достижения требуемых показателей эксплуатационных свойств дисперсно-наполненных композиционных материалов на серном связующем могут быть реализованы большим числом способов, в частности: введением в матричный материал стабилизаторов полимерной фазы; введением веществ, родных материалам дисперсных фаз;



*Е.В. КОРОЛЕВ и др. Наномодифицированные композиты с термопластичной матрицей*

введением активных (усиливающих) дисперсных наполнителей; хаотическим армированием. Одним из эффективных способов управления свойствами серных композитов является формирование на межфазных границах переходного слоя – непроницаемой оболочки вулканизата – предотвращающего нежелательные химические взаимодействия. Значение толщины переходного слоя синтезируемых новообразований по порядку величины близко к 100 нм [3]; проявление масштабного фактора – характеристический признак, позволяющий говорить о наномодификации таких композитов [2].

Практическая реализация нанотехнологии при изготовлении композиционных материалов с термопластичной матрицей осуществляется посредством технологических операций нанесения слоя прекурсора на поверхность наполнителя с последующей обработкой по выбранному температурному режиму. В качестве прекурсора может применяться низкомолекулярный бутадиеновый каучук. Базой выбора являются известные представления о химических свойствах указанного прекурсора.

В ходе экспериментальных исследований в качестве компонентов композиции использованы: техническая сера (ГОСТ 127-93), ферроборовый шлак с удельной поверхностью 150 м<sup>2</sup>/кг и каучук СКДН-Н (ТУ 38-103515-82).

Численное исследование напряженно-деформированного состояния системы «наполнитель-вулканизат-серное вяжущее» свидетельствует, что слой вулканизата обеспечивает практически свободную термическую усадку оболочки серы и создает предпосылки формирования кристаллической структуры в равновесных условиях. Адекватность вычислительных экспериментов подтверждается кинетикой первичного параметра сигнала акустической эмиссии<sup>6</sup>, приведенного к выходу пьезопреобразователя усредненного напряжения (рис. 1).

При построении графика на рис. 1 по горизонтальной оси откладывалось частное от деления текущего механического напряжения исследуемого образца на экспериментально найденное разрушающее напряжение.

Как следует из представленных результатов, модифицирование поверхности дисперсной фазы приводит не только к снижению интеграль-

<sup>6</sup> В процессе измерений использованы модули акустомеханической системы «Унисон» – авторской разработки НОЦ НТ ФГБОУ ВПО «МГСУ»

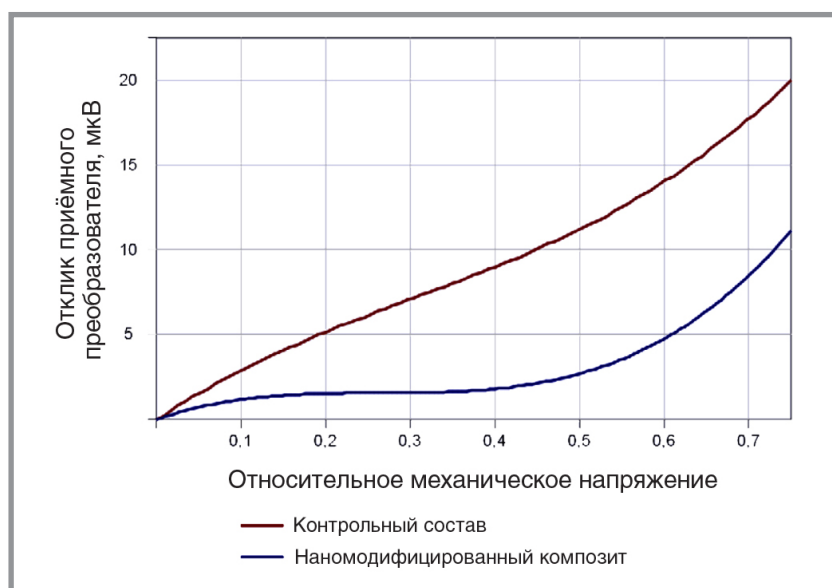


Рис. 1. Кинетика первичного параметра сигнала акустической эмиссии (АЭ)

ного значения АЭ — что косвенно свидетельствует о пониженной концентрации очагов разрушения — но и к перераспределению АЭ на более поздние этапы нагружения материала. Несмотря на то, что соответствующие рис. 1 дифференциальные зависимости достигают максимальных значений на границах оси относительного напряжения, характер этих кривых существенно отличается: для наномодифицированного композита на достаточно большом интервале вблизи значения  $\sigma/\sigma_{\max} \sim 0,3$  дифференциальное значение близко к нулю. Это свидетельствует о том, что число очагов разрушения (перенапряженных связей) практически не зависит от механического напряжения. Такой характер сформировавшейся структуры композита указывает также на относительно малое количество первоначальных дефектов (очагов разрушения, сформировавшихся до начала механического нагружения). Указанные результаты позволяют прогнозировать повышенные значения показателей эксплуатационных свойств.

В процессе экспериментальных исследований последнее заключение было полностью подтверждено: реализация технологических операций формирования слоя новообразований сопровождается положительными изменениями всего комплекса эксплуатационных свойств композита.



*Е.В. КОРОЛЕВ и др. Наномодифицированные композиты с термопластичной матрицей*

Модифицирование поверхности частиц наполнителя способствует повышению трещиностойкости разрабатываемых материалов. Серные композиты на модифицированном наполнителе, обработанном 30 и 50% -ным (0,6 и 1,0% от массы серы) раствором каучука, подвергшиеся изотермической выдержке в течение 3 часов, имеют максимальное значение коэффициента сопротивления воздействию агрессивных сред.

Для оценки сравнительной эффективности разработанных материалов использован критериальный подход [4], в рамках которого принимается возможность численной оценки каждой альтернативы. Количественная формулировка обобщенного критерия качества фиксирует предпочтения требуемых эксплуатационных показателей: коэффициентов стойкости к агрессивным средам, выбранным исходя из целевого назначения материала. Построенные многообразия равного уровня позволили определить многомерную область пространства действующих переменных, соответствующую реализации комплекса требуемых показателей.

Максимальные значения показателей эксплуатационных свойств достигаются для композиционных материалов, дисперсная фаза которых обработана каучуком марки СКДН-Н в количестве 0,6% от массы серы; при этом оптимальная продолжительность изотермической выдержки составляет 3 ч. Указанные рецептурно-технологические условия приводят к формированию термодинамически устойчивого слоя новообразований, толщина которого составляет от 44 до 73 нм.

Разработанные композиты могут быть использованы при изготовлении элементов ограждающих конструкций, предназначенных для использования в условиях воздействия агрессивных сред, а также в условиях воздействия ионизирующих излучений. Применение наномодифицированных композитов позволяет увеличить длительность безремонтного цикла изделий, а также уменьшить энергозатраты при изготовлении ограждающих конструкций. По результатам проведенных исследований подана заявка на патент РФ на изобретение «Наномодифицированный композит на термопластичной матрице».

**Контакты**

**Contact information**

e-mail: korolev@nocnt.ru

e-mail: smirnov@nocnt.ru