

**Пискарёва Татьяна Ивановна**, к.т.н., доцент  
Оренбургский государственный университет  
Piskaryova Tatyana Ivanovna  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Orenburg State University

**Шаталов Павел Алексеевич**, студент, филиал в г Оренбург  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
Shatalov Pavel Alekseevich, Student, Branch in Orenburg  
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National University)

**СОВРЕМЕННЫЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:  
СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И НОВЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ  
МЕЖФАЗНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ  
MODERN NANOCOMPOSITE MATERIALS: STRUCTURE, PROPERTIES,  
AND A NEW APPROACH TO CONTROLLING INTERPHASE INTERACTIONS**

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности разрушения горных пород при кратковременном импульсном воздействии. Рассмотрены механизмы зарождения и развития трещин в породном массиве. Показано влияние параметров импульсной нагрузки на характер разрушения. Установлены отличия импульсного разрушения от статических режимов нагружения.

**Abstract.** This article examines the fracture behavior of rocks under short-term impulse loading. The formation of the stress–strain state under dynamic loading is analyzed. The mechanisms of crack initiation and propagation in rock mass are considered. The influence of impulse loading parameters on fracture behavior is shown. Differences between impulse and static loading regimes are identified.

**Ключевые слова:** Наноккомпозит, плазмонный резонанс, газофазный метод, трещиностойкость, синтез.

**Keywords:** Rocks, impulse loading, dynamic fracture, fracture mechanics, crack formation.

Наноккомпозитами называют многокомпонентные материалы, в которых хотя бы один компонент имеет размер в нанометровом диапазоне от одного до ста нанометров. Этот термин был предложен Роем в 1982 году для описания гетерогенных материалов, получаемых золь-гель методами. Уникальные свойства наноккомпозитов обусловлены высокой удельной поверхностью наночастиц и их сильным взаимодействием с матрицей. Благодаря этому удаётся достичь значительного улучшения характеристик даже при низком содержании наполнителя – от 0,001 до 5 % по массе. В последние годы наблюдается устойчивый рост интереса к наноккомпозитам со стороны как фундаментальной науки, так и прикладных отраслей.

По типу наполнителя и матрицы выделяют несколько основных групп. Первая группа – наноккомпозиты [1], усиленные нановолокнами, в которых армирование волокнами с наноразмерными частицами обеспечивает упрочнение и структурирующий эффект. Вторая группа – наноструктурированные композиты, где наночастицы влияют на структуру и свойства матрицы, придавая ей новые функциональные характеристики, такие как каталитическая активность или магнитные свойства. Третья группа – дисперсно-упрочнённые композиты, обычно на основе металлических матриц, например алюминия, меди или их сплавов, с оксидными наночастицами. Эти материалы сохраняют прочность при повышенных температурах. Четвёртая группа – полимерматричные наноккомпозиты, представляющие собой полимеры с нанонаполнителями, в том числе углеродными нанотрубками и слоистыми



силикатами. Они отличаются улучшенными механическими, электрическими и термическими свойствами. Пятая группа – металлополимерные нанокомпозиты, содержащие металлические наночастицы серебра или золота в полимерной матрице; они обладают уникальными оптическими и электрическими свойствами за счёт поверхностного плазмонного резонанса [2].

Введение наноразмерных наполнителей приводит к улучшению механических, барьерных, электрических, тепловых и функциональных свойств материалов. Например, введение 5 % нанонаполнителя может снизить газопроницаемость материала в 5–15 раз. Добавление углеродных нанотрубок снижает электрическое сопротивление на 8–10 порядков и увеличивает теплопроводность до четырёх раз.

Среди основных методов получения нанокомпозитов следует назвать механическое смешение, синтез «в месте», золь-гель метод и газофазные технологии. Среди основных методов получения нанокомпозитов следует назвать механическое смешение, которое является наиболее простым, но страдает из-за склонности наночастиц к агрегации. Метод синтеза [5] «в месте», то есть непосредственное формирование наночастиц в объёме матрицы, обеспечивает равномерное распределение, улучшенную адгезию и контроль размеров частиц. Золь-гель метод широко используется для получения керамических и гибридных нанокомпозитов, позволяя контролировать структуру на молекулярном уровне. Газофазные методы [3] применяются для создания тонкоплёночных нанокомпозитов и покрытий и обеспечивают высокую чистоту.

Несмотря на многочисленные преимущества нанокомпозитов, остаётся нерешённой проблема агрегации наночастиц, особенно при содержании наполнителя более 1 % по массе. В рамках настоящей работы предложен новый подход, основанный на предварительной модификации поверхности нанонаполнителя короткоцепочечными бифункциональными органическими молекулами-адаптерами.

В качестве модельной системы был выбран поливинилхлорид, армированный наночастицами диоксида кремния размером около 50 нм.

Испытания на трёхточечный изгиб показали, что у немодифицированного образца трещиностойкость возрастает в 1,1 раза по сравнению с ненаполненным полимером. В опытном образце трещиностойкость [4] возросла в 2,2 раза. Анализ поверхности излома с помощью растровой электронной микроскопии показал равномерное распределение наночастиц без видимых агломератов.

Дополнительно установлено, что предложенный метод позволяет сохранить и повысить барьерные свойства нанокомпозита. Газопроницаемость по кислороду для опытного образца снизилась в семь раз по сравнению с чистым полимером, тогда как для образца с немодифицированными частицами снижение составило лишь 1,8 раза.

Таким образом, метод молекулярно-адаптерной модификации с минимальной длиной адаптера позволяет эффективно управлять межфазным взаимодействием в нанокомпозитах без существенного удорожания технологии.

### Список литературы:

1. Баскаков С.А., Баскакова Ю.В., Дворецкая Е.В., Красникова С.С., Лесничая В.А., Шульга Ю.М., Василец В.Н. Получение и исследование механически прочных нанокомпозиционных латексных материалов на основе полиуретан/оксид графена // Химия высоких энергий. – 2023. – Т. 57, № 3. – С. 191-197.
2. Варфоломеев А.Е. Тензочувствительные свойства полимерных нанокомпозитов на основе островковых пленок // Российские нанотехнологии. – 2024. – Т. 19, № 1. – С. 30-36.
3. Ли С., Седакова Е.Б. Моделирование влияния наноразмерных наполнителей на механические свойства и износостойкость композита на основе полиэфирэфиркетона // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2023. – № 3. – С. 64-69.
4. Рощупкина И.Ю., Тупикова Е.Н., Абдрахимова Е.С. Физико-химические основы нанотехнологий: учебное пособие. – Самара: Самарский университет, 2023.



5. Фадеева Н.В., Токранова Е.О., Буланова А.В. Физикохимия наноструктур и нанокompозитов: учебное пособие. – Самара: Самарский университет, 2024. – 149 с. – ISBN 978-5-7883-2047-2.

6. Фомин Е.О., Трофимчук Е.С., Москвина М.А., Никонорова Н.И. Особенности термоокислительной деструкции и пиролиза нанокompозитов на основе пористого полиэтилена и диоксида кремния // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. – 2022. – Т. 64, № 5. – С. 352-364

