

Бондаренко Ю. М., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВОЙ МАТРИЦЫ И ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ - ЭФФЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ БАРЬЕРОВ

bgtu-bondarenko@yandex.ru

Рассмотрена перспектива использования современных радиационно-защитных композиционных материалов для формирования защитных инженерных барьеров. Установлена возможность получения нового вида конструкционного радиационно-защитного композиционного материала на основе металлической алюминиевой матрицы и наполнителя в виде высокодисперсных оксидов тяжелых металлов. Сочетание высоких эксплуатационных и радиационно-защитных свойств такого материала, позволяет использовать его в качестве несущих конструкций, работающих при температурах до 550°C и внешней нагрузкой до 775 МПа., а так же обеспечивающих биологическую защиту от  $\gamma$ -излучения в широком диапазоне энергий 0,06-1,2 МэВ с поглощенной дозой до 10 МГр.

**Ключевые слова:** композиционный материал, радиационно-защитный материал, инженерный барьер, алюминиевая матрица, наполнитель.

Обеспечение радиационной безопасности требует комплекса многообразных защитных мероприятий, зависящих от конкретных условий работы с источниками ионизирующих излучений, а также от типа источника [1].

При проектировании инженерных барьеров из радиационно-стойких и радиационно-поглощающих материалов параметры защиты определяются следующими факторами [2, 3, 7]:

- толщина защиты определяется радиационной обстановкой, зависящей от характеристик технологического процесса (преобладающего вида и энергии излучения, активности источников и расстояния от них, геометрией просвечивания и др.);

- размер защиты.

Такое проектирование защиты можно считать классическим, принятым в большинстве проектных организаций. Сочетание в конструкции барьера функций защитной и ограждающей приводит к созданию массивных стен и перекрытий, что является серьезной нагрузкой для несущих конструкций. Поэтому в некоторых случаях оказывается целесообразной обратная связь в проектировании, т.е. оценка роли нагрузок от защитных конструкций при компоновке технологического процесса и формирование объемно-планировочного решения. Такой подход в проектировании позволяет улучшить технико-экономические показатели конструкций ядерно-энергетических установок за счет снижения материалоемкости несущих конструкций с повышенными радиационно-защитными характеристиками [4, 5].

В обеспечение свойств инженерных барьеров специальные защитные материалы нового поколения должны [1 - 8]:

- быть устойчивыми к длительному воздей-

ствию радиации, т.е. величина поглощенной (накопленной) дозы за время технологического цикла (50 лет) должна быть не менее 1000 Мрад при сохранении на необходимом уровне или улучшении других свойств;

- быть долговечными, т.е. сохранять заданные свойства в течение всего технологического цикла при комплексном воздействии температур, влажности, фактического напряженно-деформированного состояния;

- обладать максимально возможной плотностью, способствующей максимальному ослаблению первичного и вторичного  $\gamma$ -излучения;

- обладать высокими физико-механическими показателями;

- обладать необходимыми теплофизическими характеристиками (высокой термической стойкостью; высокими значениями теплопроводности для уменьшения температурного градиента по толщине защиты; минимальными значениями разности температурных коэффициентов линейного расширения составляющих частей материала, что должно обеспечивать монолитность конструкции при ее эксплуатации в знакопеременных температурах);

- быть водонепроницаемыми для исключения выщелачивания радионуклидов при контакте с грунтовыми водами и атмосферными осадками;

- быть нетоксичными, пожаро- и взрывобезопасными;

- обеспечивать в реальных условиях минимально возможные скорости диффузии радионуклидов через барьеры (за счет целенаправленного формирования микроструктуры барьера) для исключения выхода их в окружающую среду в концентрациях, представляющих опасность;

- быть морозостойкими и жаростойкими;

- обладать высокой коррозионной стойко-

стью;

- обладать минимальной усадкой при монтаже и эксплуатации для предотвращения образования трещин;

- приготавливаться из имеющихся в достаточном количестве в РФ дешевых компонентов.

В природе нельзя найти материала, удовлетворяющего всем вышеприведенным требованиям. Поэтому в настоящее время при формировании инженерных барьеров применяют органические и неорганические конструкционные радиационно-защитные композиционные материалы (включая радиационно-защитные смеси), состоящие из одного и более компонентов, которые придают всей системе свои уникальные свойства [6].

Для обоснования оптимальных путей создания нового эффективного радиационно-защитного материала, способного обеспечить инженерную защиту на объекте ядерно-энергетического комплекса, проведен мониторинг информации в области радиационно-защитных материалов строительного назначения.

Особый интерес представляют композиционные материалы, состоящие из наполнителей естественного и искусственного происхождения, упакованные в пластическую металлическую матрицу. Применение металлокомпозиционных материалов взамен традиционных бетонов обеспечивает увеличение прочности, деформативности по сравнению с бетонными изделиями и позволяет сформировать ряд таких специфических свойств, как пониженная теплопроводность, повышенная износостойкость, низкая чувствительность к знакопеременным температурам и поверхностным дефектам.

В Белгородском государственном технологическом университете (БГТУ) им. В. Г. Шухова разработан новый альтернативный материал для формирования радиационно-защитных инженер-

ных барьеров – композиционный материал на основе радиационно-стойкого алюминиевого сплава и радиационно-поглощающих высокодисперсных оксидов тяжелых металлов (железа и висмута) [9].

На рис.1 представлена поверхность композиционного материала на основе алюминиевой матрицы и наполнителя в виде высокодисперсных оксидов тяжелых металлов. Высокая степень заполнения расплава матрицы частицами высокодисперсного наполнителя позволяет утверждать об однородности разработанного материала [10].

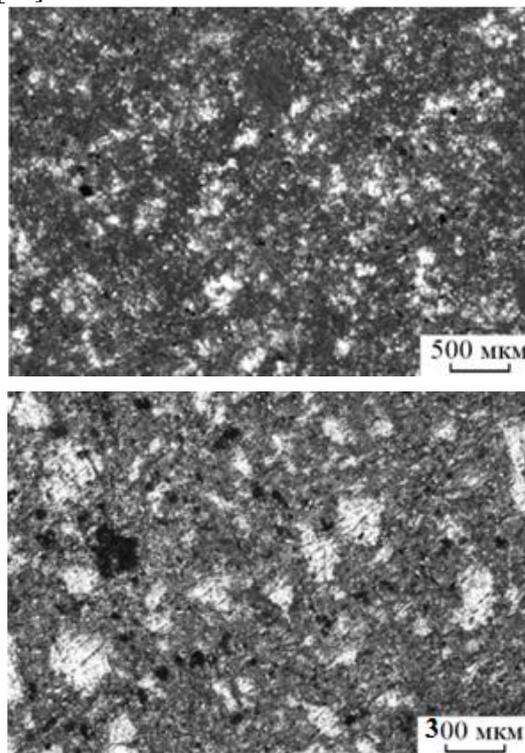


Рис. 1. Поверхность композиционного материала на основе алюминиевой матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов

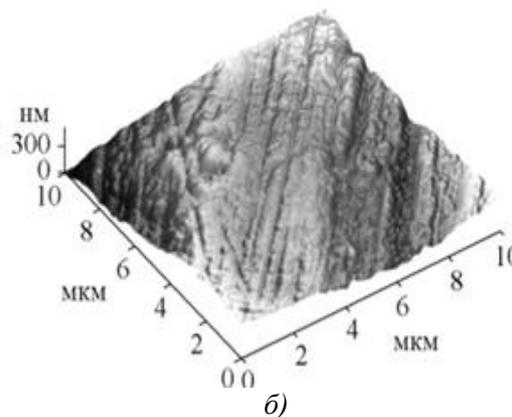
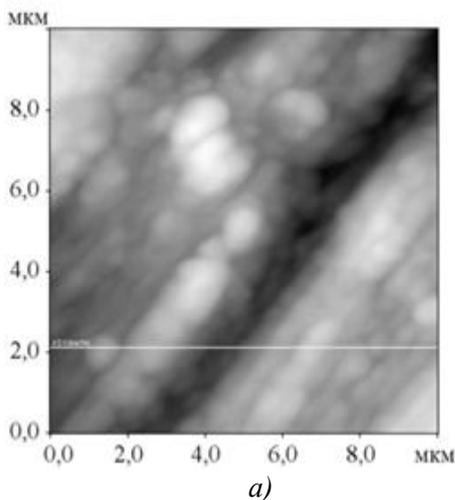


Рис. 2. Топография поверхности композиционного материала на основе алюминиевой матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов в формате: 2 D 10x10 мкм (а); 3D 10x10x0.1 мкм (б)

Зондирование поверхности представленного материала полуконтактным методом в режиме топографии так же подтверждает совместимость связующего с наполнителем и однородную структуру композиционного материала [11]. На рис. 2 представлена топография поверхности композиционного материала с ходом зонда на 2,1 мкм по оси ОУ. Плавные переходы на границе раздела «матрица - наполнитель» указывают на однородность разработанного композиционного материала в целом [10].

Результаты физико-механических испытаний композиционного материала на основе радиационно-стойкого алюминиевого сплава и радиационно-поглощающих высокодисперсных порошков оксидов тяжелых металлов приведены в табл. 1 [9, 12].

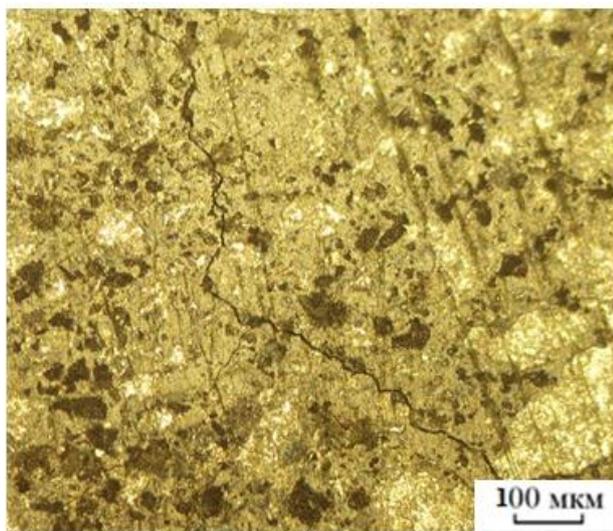
Композиционный материал разработанного состава стоек к воздействию знакопеременных температур. При постоянной скорости изменения температуры материал выдерживает термическое напряжение без образования микротрещин на его поверхности: 45 циклов нагрева до 550 °С и резкого его охлаждения, 21 цикл нагрева до температуры 750 °С и резкого его охлаждения, 13 циклов до температуры 900 °С и резкого его охлаждения. Дальнейшее увеличение количества циклов эксперимента приводит к

образованию микротрещин на его поверхности [9] (рис. 3). Характер микротрещин не зависит от температуры окружающей среды, а непосредственно зависит от количества циклов эксперимента – с увеличением количества циклов, их геометрические размеры и степень распространения по структуре материала увеличиваются [12].

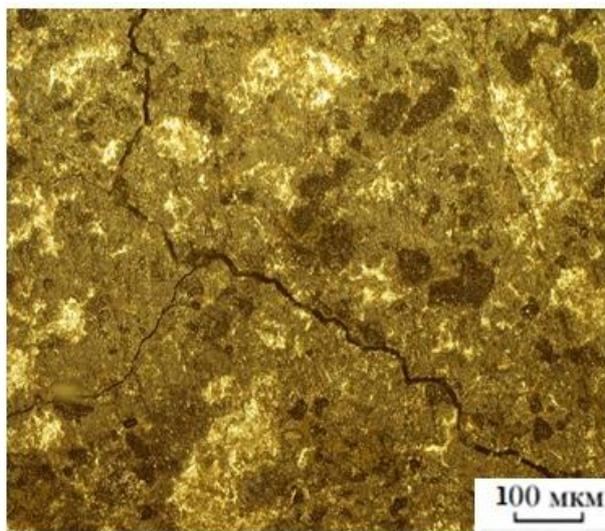
Таблица 1

**Основные эксплуатационные характеристики композиционного материала на основе алюминиевой матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов**

| №  | Показатель                                  | Значение                 |
|----|---|--------------------------|
| 1  | Плотность                                   | 3848 кг/м <sup>3</sup>   |
| 2  | Прочность на сжатие                         | 750 МПа                  |
| 3  | Прочность при изгибе                        | 275 МПа                  |
| 4  | Модуль упругости                            | 7,38·10 <sup>5</sup> МПа |
| 5  | Твердость по Бринеллю, НВ (10, 3000,10)     | 240                      |
| 6  | Твердость по Роквеллу, НРС                  | 96                       |
| 7  | Микротвердость по Виккерсу                  | 3200 МПа                 |
| 8  | Термостойкость                              | 550°С                    |
| 9  | Температура плавления                       | 1043 °С                  |
| 10 | Водопоглощение (30 сут.)                    | 0                        |
| 11 | Химическая стойкость (без потери массы), рН | 4 - 8                    |



а)



б)

Рис. 3. Поверхность композиционного материала на основе алюминиевой матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов: начально-образовавшиеся микротрещины (а), образовавшиеся микротрещины в результате увеличения циклов с 13 до 15 при температуре 900 °С (б)

Известно, что алюминиевые сплавы упрочняются термической обработкой. В зависимости от температур нагрева и способа последующего охлаждения различают следующие виды термической обработки: закалка, отпуск и отжиг. Композиционный материал на основе алюминиевой матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов подвергли процедуре за-

калывания. Прочностные характеристики композиционного материала после закалки представлены в табл. 2.

Радиационно-защитные характеристики разработанного материала по отношению к гамма-излучению определялись экспериментально в геометрии узкого пучка. При исследовании защитных характеристик композиционного ма-

териала в диапазоне энергий 0,1 - 1,2 МэВ с поглощенной дозой до 10 МГр материал проявлял стабильные физико-механические свойства, а при дальнейшем увеличении поглощенной дозы (до 14 МГр) наблюдалось ухудшение его конструктивных свойств (рис. 4).

Таблица 2

**Прочностные характеристики  
композиционного материала на основе  
алюминиевой матрицы и высокодисперсных  
оксидов тяжелых металлов после закалки**

| № | Показатель                              | Значение |
|---|---|----------|
| 1 | Прочность на сжатие                     | 775 МПа  |
| 2 | Твердость по Бринеллю, НВ (10, 3000,10) | 305      |
| 3 | Твердость по Роквеллу, НРС              | 120      |
| 4 | Микротвердость по Виккерсу              | 3720 МПа |

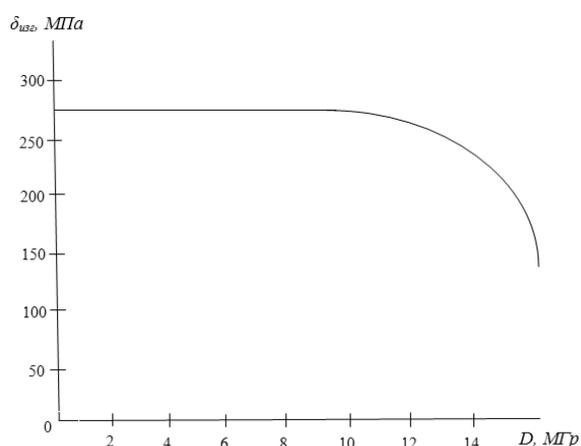


Рис. 4. Зависимость прочности при изгибе композиционного материала на основе алюминиевой матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов от поглощенной дозы при атаке его  $\gamma$ -квантами

Разработанный композиционный материал по радиационно-защитным характеристикам на 30 % уступает стали, на 80 % превосходит металлический чистый алюминий и на 45 % превосходит барий-серпентиновый бетон (табл. 3) [3, 7, 9, 12 - 14].

Таблица 3

**Коэффициент ослабления  $\gamma$  - лучей**

| Тип материала   | Прочность | Линейный коэффициент ослабления, $\text{см}^{-1}$ , для энергий (кэВ) |      |      |
|---|-----------|---|------|------|
|   |           | 60  | 661  | 1200 |
| Сталь (СТ-3)  | 7200      | 8,72  | 0,57 | 0,42 |
| Чистый алюминий   | 2700      | 0,657   | 0,2  | 0,15 |
| Барий-серпентиновый бетон   | 3430      | 4,15  | 0,27 | 0,2  |
| Композиционный материал на основе алюминиевой матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов | 3848      | 5,82  | 0,35 | 0,26 |

Представленные характеристики разработанного композиционного материала на основе алюминиевой матрицы и наполнителя в виде высокодисперсных оксидов тяжелых металлов может быть использован в качестве эффективного материала для формирования радиационно-защитных инженерных барьеров, способных обеспечить биологическую защиту от  $\gamma$ -излучения в широком диапазоне энергий 0,06-1,2 МэВ с поглощенной дозой до 10 МГр. Материал может быть использован для изготовления конструкций, работающих при температурах до 550 °С и внешней нагрузкой до 775 МПа.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Модифицирование природных минеральных систем для очистки воды от радионуклидов / Е.П. Клочков, В.И. Павленко, П.В. Матюхин, А.В. Ястребинская // Современные проблемы науки и образования. 2012. №6. С. 137 – 137.
2. Павленко В.И., Матюхин П.В. Основные аспекты разработки современных радиационно-защитных конструктивных металлокомпозиционных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2005. №10. С. 85-86.
3. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. Композиционный материал, стойкий к воздействию высокоэнергетических излучений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №2. С.25-27.
4. Павленко В.И., Матюхин П.В. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов // Строительные материалы. 2005. №8. С. 22 – 25.
5. Interaction of fast electrons and gamma-quanta with radiation protection ferric oxide composites / V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinskii, P.V. Matyukhin, D.V. Voronov // Russian Physics Journal. 2008. T. 51. № 11. С. 1188-1194.
6. Матюхин П.В. Неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. №9. С. 39 – 43.
7. Композиционные материалы для защиты от гамма-излучения / Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко, П.В. Матюхин, Н.А. Четвериков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С.17-20.
8. Перспективы создания современных высококонструктивных радиационно-защитных металлокомпозиционных материалов / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, Ю.М. Бондаренко //

Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 27-29.

9. Композиционный материал для радиационной защиты / Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Бондаренко Ю.М. // патент на изобретение RUS 2470395 20.12.2010.

10. Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. Исследование микроструктуры поверхности композиционного материала на основе алюминиевой матрицы // Перспективные материалы. 2013. №6. С. 22 – 26.

11. Исследование влияния вакуумного ультрафиолета на морфологию поверхности нанонаполненных полимерных композиционных материалов в условиях, приближенных к условиям околоземного космического пространства / Н.И. Черкашина, В.И. Павленко, А.С. Едаменко, Матюхин П.В. // Современные проблемы науки и образования. 2012. №6. С. 129 – 130.

12. Конструкционный радиационно-защитный металлокомпозиционный материал на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов / Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. С. 120-120.

13. Взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железозоксидными композитами / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, П.В. Матюхин, Д.В. Воронов // Известия высших учебных заведений. Физика. 2008. Т.51. №11. С.66 -71.

14. Interaction of fast electrons and gamma-quanta with radiation protection ferric oxide composites / V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinskii, P.V. Matyukhin, D.V. Voronov // Russian Physics Journal. 2008. T.51. №11. С. 1188 – 1194.