

«Сейфуллин оқулары– 14: Жастар, ғылым, инновациялар: цифрландыру - жаңа даму кезеңі » атты Республикалық ғылыми-теориялық конференциясының материалдары = Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 14: Молодежь, наука, инновации: цифровизация - новый этап развития». - 2018. - Т.І, Ч.1. - С.6-10

ПРИМЕНЕНИЕ УМНЫХ КОМПОЗИТНЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ниязбекова Р.К., Конканов М.

1. Введение

С развитием общества гражданские и промышленные инфраструктуры становятся все более сложными, крупномасштабными и дорогостоящими. Вопросы повышения безопасности и долговечности строительных сооружений сельского хозяйства становятся все более важными.

Основным строительным материалом для сооружений сельского хозяйства, таких как школы, мосты, дамбы, инженерные сети, фермы, фабрики и производственные комплексы, является бетон. Из-за некоторых присущих бетону недостатков, его структура ослабевает. Ослабление и разрушение бетона в основном происходит из-за старения материала, агрессивных условий его применения, длительности эксплуатации, а также из-за других причин, связанных с отсутствием надлежащих методов контроля и обслуживания [1,2]. Внутри микроструктуры бетона обнаруживаются многочисленные трещины в наномасштабе, которые образовались в процессе изготовления или использования. Со временем нанотрещины соединяются, образуя микроразрушения, что в дальнейшем приводит к образованию макротрещин и разрушению структур [3]. Ранее обнаружение этих неотъемлемых разрушений на микроуровне способствует надлежащему техническому обслуживанию зданий и в целом значительно повысить безопасность и срок службы бетонных конструкций.

В этой связи, так называемые «умные композитные бетоны», могут быть хорошим решением для развития сельской инфраструктуры, а также решением для развития умных городов.

В настоящее время большое внимание исследователей получает собственно самораспознающие (самочувствительные) бетоны (ССРБ) [4-9].

ССРБ относятся к структурным материалам, которые индицируют состояние своей внутренней структуры без необходимости внедрения в материал сенсоров или прикрепления к ним внешних специальных устройств, применяемых для неразрушающего контроля [10].

Напряжения, деформации, трещины и разрушения могут контролироваться в процессе эксплуатации путем измерения электрического

сопротивления ССРБ. По сравнению с традиционными датчиками, применяемыми для контроля сооружений, ССРБ обладают высокой чувствительностью, хорошими механическими свойствами, естественную совместимость и простоту обслуживания [11-15].

ССРБ обладают способностью определять свои собственные деформации и повреждения, что достигается путем детектирования изменений их удельного электрического сопротивления, основанного на эффекте пьезорезистивности.

Обычный бетон, как правило, является плохим электрическим проводником и поэтому для достижения эффекта пьезорезистивности композитный бетон должен содержать проводящий элемент. Композитные ССРБ могут быть изготовлены из обычного бетона путем добавления в него функциональных наполнителей, так как: стальные волокна, никелевая крошка, углеродные волокна, технический углерод и углеродные нанотрубки.

Эти компоненты формируют проводящую «электрическую сеть» внутри композита. Когда ССРБ подвергаются деформации или повреждаются, то состояние проводящей сети нарушается (изменяется), что приводит к изменению электрического сопротивления. Проводящая сеть и результирующее изменение сопротивления сильно зависят от типа проводящего компонента, его количества, а также от его распределения. Одним из преимуществ ССРБ является то, что функциональные наполнители сами по себе применяются в качестве упрочняющего материала, поэтому состав ССРБ может быть подобран таким образом, что бы выполнять одновременно задачи упрочнения конструкции и мониторинга ее состояния.

2. Характеристика самораспознавания

Обычно количественная оценка производительности самораспознавания композитных бетонов определяется путем измерения относительного изменения сопротивления FRC, которое выражается как [16]:

$$\text{Относительное изменение сопротивления (FRC)} = \frac{(R - R_0)}{R_0} \quad (1)$$

где: R_0 и R – начальные и конечные значения сопротивления, соответственно.

Кроме того, зачастую для количественной оценки «чувствительности» композитного бетона применяется безразмерный коэффициент GF [17].

$$GF = \frac{(FRC)}{\epsilon} \cdot 100 \quad (2)$$

где: ϵ – механическая деформация.

3. Состав композитных бетонов

ССРБ по своей природе являются многофазными, многомасштабными многокомпонентными композитами. На макроскопическом уровне ССРБ являются двух фазным материалом, состоящим из функциональных наполнителей, распределенных в бетоне-матрице как показано на рисунке 1 [14]. Наполнители распределены в бетон-матрице с образованием

проводящей сети. Бетон-матрица, образованная минеральными заполнителями склеенными связывающими веществами, поддерживает функциональные наполнители и удерживает их на месте. В качестве связывающих материалов могут выступать цемент, асфальт или даже полимеры [18-25].

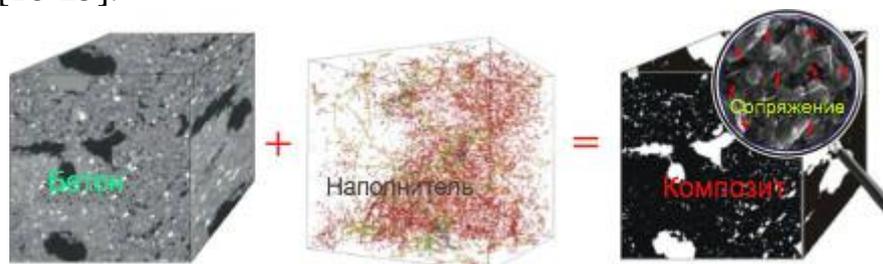


Рисунок 1 – Структура самораспознающих бетонов

На микроскопическом уровне ССРБ является трехфазным материалом, который состоит из границ взаимодействия между наполнителями и бетоном [26].

В общем случае, материалы, применяемые для изготовления ССРБ делятся на три категории: материал бетонной смеси, функциональные наполнители и вспомогательный материал для дисперсии наполнителя.

4. Мониторинг состояния

ССРБ имеют большой потенциал применения для мониторинга состояния структуры конструкций.

Для мониторинга состояния ССРБ изготавливаются в виде полной балки, покрытия, «сэндвичей», а также могут прикрепляться или внедряться в балку как показано на рисунке 2.

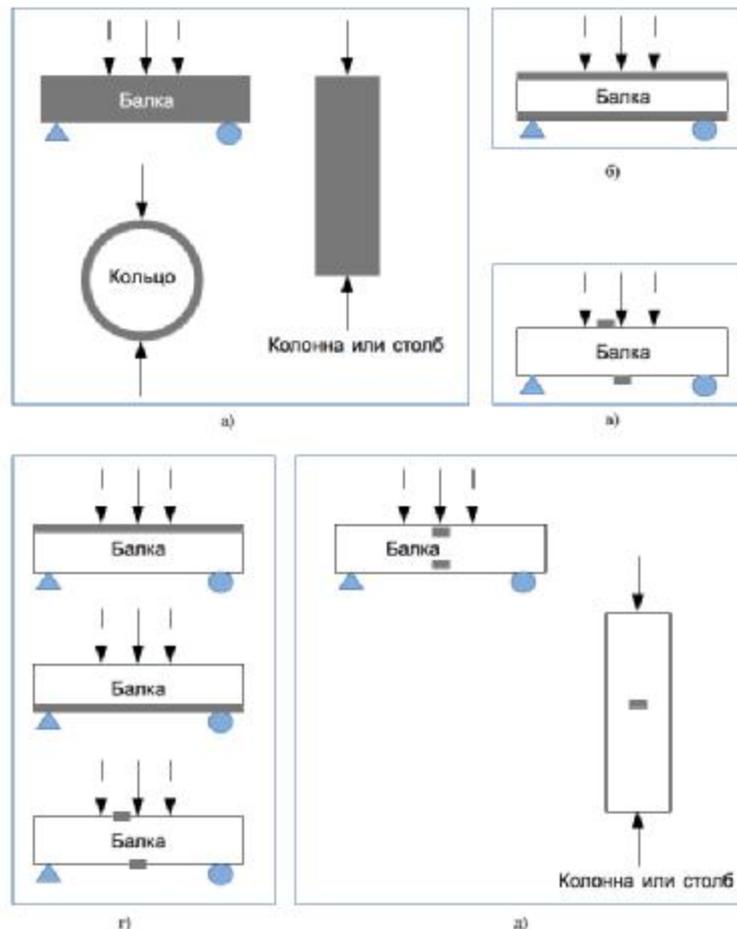


Рисунок 2 – Формы изготовления самораспознающих бетонов: а) цельной конструкции; б) «сэндвич»; в) прикрепления; г) покрытия; д) внедрения. Серым цветом выделен материал из ССРБ.

Здесь цельная конструкция означает, что деталь конструкции полностью изготовлена из ССРБ, выполнение в виде покрытия означает, что одна из сторон детали покрыта слоем композитного бетона. Изготовление в виде «сэндвича» означает, что две стороны детали (лицевая и обратная стороны) покрыты ССРБ. Прикрепленная форма означает, что небольшой элемент из ССРБ крепится к детали из «обычного» бетона при помощи клея, внедренная форма означает, что из ССРБ изготавливается элемент меньшего по размеру, который затем заливается основным материалом, из которого выполняется деталь [27, 28].

5. Возможности дальнейших исследований и внедрений самораспознающих композитных бетонов

Как уже было сказано выше, благодаря своим свойствам собственно самораспознающие бетоны могут быть использованы при строительстве различных сооружений для инфраструктур в аграрно-промышленном комплексе. При этом указанные бетоны могут применяться как для усиления самой бетонной конструкции, так и для непосредственного мониторинга той же самой конструкции при ее эксплуатации без применения дополнительных инструментов и специального оборудования, что особенно важно при эксплуатации сооружений в отдаленных районах.

Несмотря на то, что ССРБ появились около 20 лет назад, их исследования еще продолжаются, т. к. существуют основные проблемные вопросы по внедрению ССРБ:

1 Изготовление ССРБ. Методы изготовления ССРБ достаточно изучены [29], но стоимость подобного композита относительно высока в связи с высокой стоимостью функциональных наполнителей, а также необходимостью применения вспомогательных компонентов для равномерного распределения наполнителей. Ключевой задачей является поиск простого, хорошо повторяемого, мало затратного способа для изготовления таких бетонов в промышленных масштабах без изменения процесса производства бетонных материалов.

2 Измерение сигналов в ССРБ. Измерительный сигнал содержит информацию, отражающую состояние ССРБ. Но измерительный «шум» и фактор окружающей среды могут существенно влиять на измерительный сигнал. В этой связи необходима разработка совершенно новых видов электродов и измерительных схем для получения более качественного и четкого измерительного сигнала. Конечной целью является разработка стандартизованных методов и измерительного оборудования для работы с ССРБ.

3 Чувствительные свойства и их механизм. Различные исследования сконцентрированы на изучение свойств ССРБ при однонаправленных нагрузках, хотя в «реальных» условиях ССРБ подвержены различным видам нагружений и комплексным напряжениям. Поэтому дальнейшие исследования ССРБ должны быть направлены на разработку универсальных моделей для описания и прогнозирования чувствительных характеристик ССРБ в разных временных и пространственных условиях.

Список литературы

1 Sun M, Staszewski W, Swamy R 2010 Smart sensing technologies for structural health monitoring of civil engineering structures. *Adv Civil Eng 2010: 1–13*.

2 Aggelis D, Alver N, Chai H 2013 Health monitoring of civil infrastructure and materials. Hindwai Publishing Corporation.

3 Parveen S, Rana S, Fangueiro R 2014 A review on nanomaterial dispersion, microstructure, and mechanical properties of carbon nanotube and nanofiber reinforced cementitious composites. *J Nanomater 80*.

4 Han B and Ou J. 2007 Embedded piezoresistive cement-based stress/strain sensor. *Sensors Actuat. A Phys. 138(2):294-298*.

5 Han B, Yu X and Kwon E 2009 A self-sensing carbon nanotube/cement composite for traffic monitoring, *Nanotechnology, 20(44):445501*.

6 Han B, Han B, and Ou J 2009. Experimental study on use of nickel powder-filled Portland cement-based composite for fabrication of piezoresistive sensors with high sensitivity, *Sensors Actuat. A Phys. 149(1):51-55*.

7 Kim H, Park I and Lee H 2014 Improved piezoresistive sensitivity and stability of CNT/cement mortar composites with low water-binder ratio *Compos.*

Struct. 116:713-719.

8 Han B, Zhang L, Sun S, Yu X, Dong X, Wu T and Ou J 2015 Electrostatic self-assembled carbon nanotube/nano carbon black composite fillers reinforced cement-based materials with multifunctionality *Composites A*, 79:103-115.

9 Ubertini F, Materazzi A, D Alessandro A, and Laflamme S 2014 Natural frequencies identification of a reinforced concrete beam using carbon nanotube cement-based sensors *Eng Struct*, 60:265-275.

10 Zhang L, Dong S, Ding S, Sun S and Han B 2016 Intrinsic Self-Sensing Concrete for Smart Infrastructures *1st International Workshop on Structural Health Monitoring for Railway System: Proc. of First Int. workshop* Wang J, Ma Y and Chang F (электронная книга).

11 Han B, Ding S, Yu Y, Yu X, Dong S, and Ou J 2015 Design and Implementation of a Multiple Traffic Parameter Detection Sensor Developed with Quantum Tunneling Composites *Ieee Sens J.* 15(9):4845-4852.

12 Dong S, Han B, Ou J, Li Z, Han L and Yu X 2016 Electrically conductive behaviors and mechanisms of short-cut super-fine stainless wire reinforced reactive powder concrete *Cem. Concr. Comp.* 72: 48-56.

13 Gupta S, Gonzalez J and Loh K J 2016 Self-sensing concrete enabled by nano-engineered cement-aggregate interfaces *Struct. Heal. Monit.*, 1-15.

14 Han B, Ding S and Yu X 2015 Intrinsic self-sensing concrete and structures: A review *Measurement* 59:110-128.

15 Han B, Wang Y, Dong S, Zhang L, Ding S and Yu X 2015 Smart concretes and structures: A review *J. Intell. Mater. Syst. Stuct.*, 26(11):1303-1345.

16 Han B, Wang Y, Sun S, Yu X, and Ou J 2014 Nanotip-induced ultrahigh pressure-sensitive composites: Principles, properties and applications *Composites A*, 59:105-114.

17 Salvado R, Lopes C and Szojda L 2015 Carbon fiber epoxy composites for both strengthening and health monitoring of structures *Sensors* 15: 10753–10770.

18 Rana S, Subramani P , Fanguero R and Correia A 2016 A review on smart self-sensing composite materials for civil engineering applications *AIMS Materials Science*, 3(2): 357-379.

19 Sett K 2003 Characterization and Modeling of Structural and Self-Monitoring Behavior of Fiber Reinforced Polymer Concrete, Dissertation for the Master of Science in Civil Engineering.

20 Prashanth P and Vipulanandan C 2009 Characterization of Thin Disk Piezoresistive Smart Material for Hurricane Applications *THCIT Conference and Exhibition*, pp. 1–2.

21 Wang X, Wang Y and Jin Z 2002 Electrical conductivity characterization and variation of carbon fiber reinforced cement composite *J. Mater. Sci.* 37 223–227.

22 Han B G, Han B Z and Yu X 2009 Experimental study on the contribution of the quantum tunneling effect to the improvement of the conductivity

and piezoresistivity of a nickel powder-filled cement-based composite, *Smart Mater. Struct.* 18 065007(7pp).

23 Fan X, Fang D, Sun M, Li Z 2011 Piezoresistivity of carbon fiber/graphite cement-based composites with CCCW, *J. Wuhan Univ. Technol.-Mater. Sci. Ed.* 25 (2) 339–343.

24 Wu S, Mo L, Shui Z and Chen Z 2005 Investigation of the conductivity of asphalt concrete containing conductive fillers *Carbon* 43 1358–1363.

25 Baeza F, Chung D, Zornoza E, Andión L and Garcés P 2010 Triple percolation in concrete reinforced with carbon fiber *ACI Mater. J.* 107 (4) 396–402.

26 Mehta P and Monteiro P 2006 *Concrete: Microstructure, Properties and Materials*, McGraw-Hill, New York.

27 Han B and Ou J 2007 Embedded piezoresistive cement-based stress/strain sensor *Sens. Actuators, A* 138 (2) 294–298.

28 Han B, Yu X, Zhang K, Kwon E and Ou J 2011 Sensing properties of CNT filled cement-based stress sensors *J. Civ. Struct. Health Monit.* 1 17–24.

29 B. Han et al 2017 *Smart and Multifunctional Concrete Toward Sustainable Infrastructures* Springer Nature Singapore Pte Ltd.