

Тенденции современного строительства: самовосстанавливающийся бетон

В.С. Бирюков, А.С. Смирнов, А.М. Тамбовцев, Т.Ф. Чередниченко

*Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного
технического университета*

Аннотация. В статье рассматриваются различные механизмы самовосстановления бетона, используемого при строительстве зданий и сооружений, проектируемых для определенных условий эксплуатации и окружающей среды, что позволяет экономить ресурсы и время при обслуживании и ремонте объектов различного назначения.

Ключевые слова: бетон, разрушение, самовосстановление, полые волокна, микрокапсулирование, расширяющий агент, бактерии.

Строители часто задаются вопросом: как любой возводимый объект был не только максимально надежным и долговечным, но и обладал способностью к саморемонту или самовосстановлению? На этот вопрос может ответить исследование, изложенное в данной статье.

Область самовосстанавливающихся материалов является одной из самых перспективных и многообещающих в материаловедении, поскольку она даёт возможность создать новый класс материалов. Их можно рассматривать как интеллектуальные, которые будут ассимилироваться с теми материальными объектами, которые можно наблюдать в природе [1,2].

Новаторам строительной индустрии нужно обратить свое внимание на природу. Именно она создала за нас регенерацию, самовосстановление. Ученым и изобретателям лишь осталось взять из природы наиболее эффективные инструменты и свойства, и применить их в своих целях, в строительстве и не только.

Об эффективности любого материала или объекта можно судить при соблюдении условий его надежности и долговечности на протяжении всего жизненного цикла, при этом затраты на его эксплуатацию минимальны. Многие из условий, которые предъявляются к самовосстанавливающимся

материалам, являются механическими, например, поддерживать статическую и динамическую нагрузку под воздействием различных факторов. Из наблюдений за поведением материальных объектов в природе, наше внимание привлекает одно из самых поразительных свойств, а именно: способность к самовосстановлению. Такие материалы, как кожа, кости и т.д. способны перенести перелом, разрыв, разрез и после этого восстановиться и продолжать выполнять все те же функции, что и были возложены на них до частичной потери работоспособности [3].

Рассматривая идею самовосстанавливающегося материала, наибольшее внимание мы обращаем на бетон. Современное строительство немислимо без бетона. Это один из самых массовых строительных материалов. Он применяется в самых разных эксплуатационных условиях, гармонично сочетается с окружающей средой, имеет неограниченную сырьевую базу и сравнительно низкую стоимость. К этому следует добавить высокую архитектурно-строительную выразительность бетона, сравнительную простоту и доступность технологии, возможность широкого использования местного сырья и утилизации техногенных отходов при его изготовлении, малую энергоемкость, экологическую безопасность и эксплуатационную надежность. Именно поэтому бетон, без сомнения, остается основным конструкционным материалом и в обозримом будущем. Если бы удалось создать идеальную модель самовосстанавливающегося бетона, это привело бы к огромной экономии ресурсов и времени при обслуживании и ремонте сооружений, что, как можно заключить, требует больших материальных, трудовых, финансовых и других затрат во всех странах [4].

Вне сомнения, современное строительство нуждается в самовосстанавливающемся бетоне, который не нужно ремонтировать и обновлять. Для этого мы исследовали работы, выполненные в области

материаловедения, в которых были изучены различные механизмы, а также условия, при которых материалы могут самовосстанавливаться [5].

Процессы самовосстановления и самостоятельный ремонт приведены на рисунке 1.

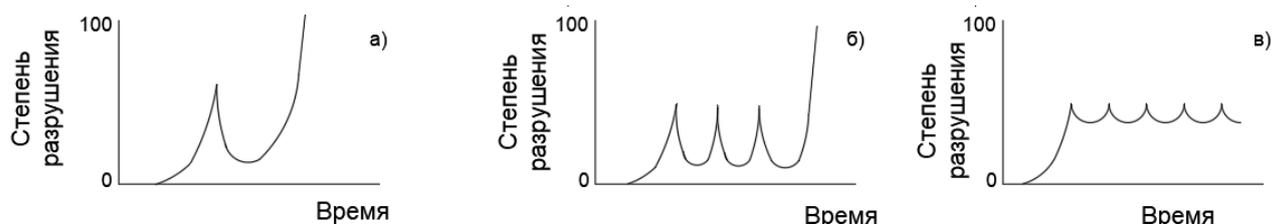


Рис. 1. – Процессы самовосстановления и самостоятельный ремонт

На рисунке 1а показано, что повреждение почти полностью устранено, после чего только новое повреждение приводит к окончательному перелому. На рисунке 1б процесс с различными стадиями самовосстановления, в каждом из которых причиненное повреждение частично восстанавливается после нескольких циклов лечения и цикла, когда ремонта не было, происходит окончательное разрушение. На рисунке 1в приведен пример идеального самостоятельного ремонта [6]. При последнем варианте (рис. 1в) ущерб постоянно уменьшается после достижения определённого уровня, не достигая уровня катастрофического ущерба, и поэтому материал будет иметь долгую «здоровую жизнь» [3,6,7].

Таким образом, с помощью этих изображений можно сделать вывод, что поведение самовосстанавливающегося материала зависит от двух основных переменных: образование повреждений и ремонт (самозалечивание) этих самых повреждений [7].

Разновидности самовосстановления бетона (рис. 2):

1. С полыми волокнами.

Бетон с полыми волокнами, равномерно распределенными по цементной матрице, которые заполняются каким-либо типом восстанавливающего

агента. Когда происходит какое-либо повреждение и образуются трещины, эти волокна ломаются, высвобождая ремонтный агент, который под действием силы тяжести и характерной цементной матрицы капиллярности достигает трещины и закрывает ее, обеспечивая ее ремонт [8].

2. Микрокапсулирование.

Бетон состоит из твердых капсул, которые образуют инертный слой, отделяющий его от внешней среды, внутри которого находятся газы или жидкости с восстанавливающим агентом. Механизм ремонта аналогичен механизму восстановления волокон, описанному ранее: по мере распространения трещин микрокапсулы разрушаются и высвобождают свое содержимое. Основное различие между волокнами и микрокапсулами заключается в том, что в волокнах внутренний компонент рассматривается как внешний агент по отношению к материалу, то есть ранее он не являлся его частью. А в капсулах то, что находится внутри, представляет собой вещество, которое они изолировали снаружи, чтобы избежать возможных нежелательных реакций с веществами, присутствующими в самом материале [5].

3. Расширяющие добавки.

В состав бетона вводят добавки, которые расширяются при взаимодействии с водой для восстановления трещин. Основная проблема, которую это влечет за собой, - возможная активация репарационных добавок раньше срока, что может привести к тому, что они не активируются при повреждении матрицы или увеличат нанесенное бетону повреждение.

4. Бактерии.

«Лечение» бетона происходит с помощью методов биологического восстановления, то есть внедрения определенных бактерий, которые при взаимодействии с жидкостью образуют карбонат кальция (CaCO_3), в ходе процесса метаболизма бактерий [5]. Заделка трещин происходит в местах

соприкосновения жидкости с бактериями, бактерии активируются и начинают свою жизнедеятельность, результатом которой становится карбонат кальция.

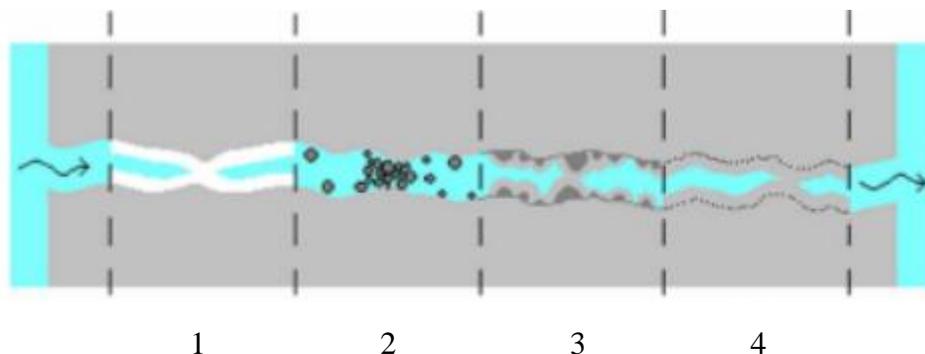


Рис. 2. Разновидности самовосстановления бетона: 1 - образование карбоната кальция (бактерии); 2 – микрокапсулирование; 3 - апостериорная гидратация частиц (расширяющие добавки); 4 - расширение цементной матрицы (полые волокна).

Наконец, из этого списка выделяется самый важный на сегодняшний день ремонтный механизм, который представляет собой не что иное, как образование осадков карбоната кальция. Этот механизм требует ряда шагов для достижения успеха. Из-за того, что в цементе есть частицы, которые не были гидратированы во время его производства, и после, в процессе добавления воды выделяется гидроксид кальция. Выделяются ионы кальция, которые вступают в реакцию с растворенным в воде углекислым газом, в результате чего образуются осадки кальция, которые идут от краев трещины и заполняют оставленные ею пустоты.

Многочисленные исследования ученых выявили необходимые условия, которые следует соблюдать для использования аутогенных самовосстанавливающихся материалов: должны быть созданы адекватные условия концентрации определенных химических веществ, при которых может происходить самовосстановление; они варьируются от постоянного

воздействия воды (материал должен быть погружен в воду или подвергаться воздействию высокой степени влажности) до влажных и сухих циклов и, наконец, дефект (ширина трещины) является наиболее проблемным и сложным критерием [9,10].

Выводы. Сегодня достигнут прогресс в понимании взаимосвязи между структурой материалов и их свойствами. Благодаря полученным знаниям о структуре материалов была рассмотрена возможность проектирования материалов направленного качества, что гарантирует их соответствие определенным условиям эксплуатации и окружающей среды.

Литература

1. Milla J., Hassan M.M., Rupnow T. Evaluation of self-healing concrete with microencapsulated calcium nitrate // Journal of Materials in Civil Engineering. 2017. URL: doi/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002072.
2. Al-Salloum Y., Hadi S., Abbas H. Bio-induction and bioremediation of cementitious composites using microbial mineral precipitation - A review // Construction and Building Materials. 2017. №154. pp 857-876.
3. Чеснокова Т.В., Логинова С.А., Киселев В.А. Анализ воздействия биологической коррозии различной длительности на бетон // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение 2018. №2 (54) С. 98-101.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: АСВ, 2011. 528 с.
5. Полторан Я.Е., Ведищев К.А. Бетон как материал прошлого, настоящего и будущего // Научно-практический электронный журнал «Аллея Науки», 2019. Т. 1. №7 (34). С. 48-52.
6. Виноградова Е.В., Мурзина О.Г. Техническое обслуживание и ремонт фундаментов и стен подвалов зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2020, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6310.
7. Маилян Д.Р., Польской П.П., Ахмад М.А. Особенности трещинообразования и разрушения усиленных железобетонных балок с

различными видами арматуры и композитных материалов // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677.

8. Циркина О.Г., Производство химических волокон: методические указания. Иваново: ИГТА, 2010. 64 с.

9. Ситников Н.Н., Хабибуллина И.А., Мащенко В.И. Самовосстанавливающиеся материалы: обзор механизмов самовосстановления и их применений // Видеонаука. 2018. №1(9). С. 1-29.

10. Jakubovskis R., Jankute A., Urbonavicius J. Gribniak V. Analysis of mechanical performance and durability of self-healing biological concrete// Construction and Building Materials. 2020. URL: [doi/10.1016/j.conbuildmat.2020.119822](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119822).

References

1. Milla J., Hassan M.M., Rupnow T. Journal of Materials in Civil Engineering. 2017. URL: [doi/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002072](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002072).

2. Al-Salloum Y., Hadi S., Abbas H. Construction and Building Materials. 2017. №154. Pp. 857-876.

3. Chesnokova T.V., Loginova S.A., Kiselev V.A. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie 2018. №2 (54). pp. 98-101.

4. Bazhenov Iu. M. Tekhnologiya betona [Concrete technology]. Moskva: ASV. 2011. 528 p.

5. Poltoran Ya.E., Vedishchev K.A. Nauchno-prakticheskiy elektronnyy zhurnal «Alleya Nauki», 2019. Т. 1. №7 (34). pp. 48-52.

6. Vinogradova E.V., Murzina O.G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6310.

7. Mailian D.R., Polskoi P. P., Akhmad M. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677.



8. Tsirkina O.G., Proizvodstvo khimicheskikh volokon: metodicheskie ukazaniya [Production of chemical fibers: methodical instructions]. Ivanovo: IGTA, 2010. 64 p.

9. Sitnikov N.N., Khabibullina I.A., Mashchenko V.I. Videonauka. 2018. №1 (9). pp. 1-29.

10. 10. Jakubovskis R., Jankute A., Urbonavicius J. Gribniak V. Construction and Building Materials. 2020. URL: doi/10.1016/j.conbuildmat.2020.119822.