

## БИОКОРРОЗИЯ БЕТОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В КОНТАКТЕ С ПРЕСНОЙ ВОДОЙ

© 2011 А.А. Денисов, А.М. Ганяев

ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт  
биологической промышленности Россельхозакадемии», г. Щёлково

Поступила 13.07.2011

Представлено определение влияние биологического фактора на старение структур бетона, а также риска биокоррозии строительных конструкций и сооружений, находящихся в контакте с грунтовыми водами.

**Ключевые слова:** биокоррозия, цементные конструкции, грунтовые воды.

Цементные материалы, такие как бетоны, строительные или цементной растворы, являются основными материалами в различных областях промышленного и гражданского строительства. Бетоны, искусственные камни, наполнители – материалы более всего используемые в мире, приблизительно 7-9 млрд кубических метров бетона используется ежегодно.

Цементные материалы такие как бетон подвержены старению. Среди факторов, принимающих участие в старении сооружений из бетона, являются микроорганизмы: бактерии, грибы, водоросли, лишайники или мхи, которые индуцируют биоповреждение.

Существуют регионы, имеющие огромные пространства с уровнем грунтовых вод близким к уровню почвы, в силу чего, фундаменты многочисленных сооружений, находятся в постоянном или периодическом контакте с грунтовыми водами. Как все естественные сред, грунтовые воды контаминированы большим разнообразием микроорганизмов. Грунтовые воды, как правило, не являются агрессивной средой, но они содержат микроорганизмы, способные создавать биопленки, долгосрочное действие которых вызывает биоразрушение бетонных строительных конструкций.

Старение цементных материалов является результатом взаимодействий различных компонентов (рис. 1).

Материалы подвергаются множеству более или менее интенсивных и продолжительных синергических воздействий.

Старение может рассматриваться как изменение свойств вещества в зависимости от времени, в конце которого материал не способен больше выполнять свою первоначальную функцию. Наблюдается постепенное изменение его свойств.

Биоповреждение (рис. 2А) является частью процессов старения: бетон изменяется под воздействием микроорганизмов, которые развиваются в виде биопленки. Происходит повреждение, при котором изменяется одно или



Рис. 1. Старение бетонов, основные причины.

несколько свойств материала. Биоразрушение (рис. 2В) заключается в повреждении структуры: свойства материала, его состава, механические характеристики могут быть изменены так, что это приводит к риску эксплуатации сооружения.

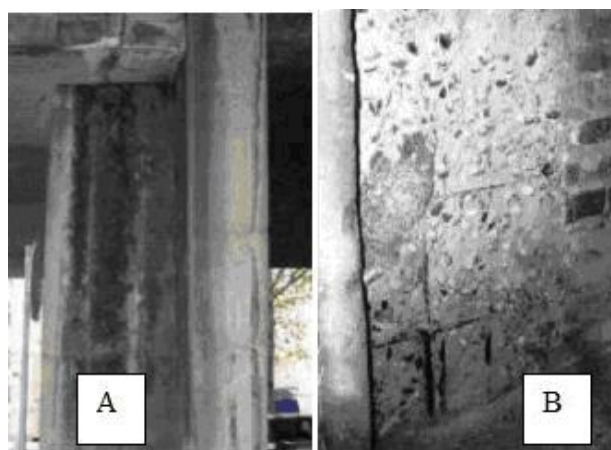


Рис. 2. Примеры биокоррозии цементных материалов. А – биоповреждение опоры; В – биокоррозия оснований здания грунтовыми водами.

Кроме того, контроль за развитием бактерий на цементных материалах затрагивает также санитарные проблемы. В некоторых случаях, микроорганизмы могут быть патогенными для человека, бактерии *Pseudomonas aeruginosa*; микроорганизмы *Aeromonas*, *Pleisiomonas*, *Mycobacterium*, *Flavobacterium*, *Serratia*. Поэтому,

это весьма значимо для рассмотрения любого микробиологического развития на бетонах в контакте с грунтовыми водами.

Взаимодействия между живыми организмами и цементными материалами относятся к одновременному происхождению явлений биоповреждений и биоразрушений. Общим для этих двух явлений является колонизация площади материала микроорганизмами, т.е. образование биопленки. Склонностью материала к колонизацией одной или несколькими группами микроорганизмов является биочувствительность.

Формирование состава биопленки зависит от материала образца, среды и присутствующих микроорганизмов.

Явления деградации, вызванные микроорганизмами, определяются взаимодействиями трех элементов: материал, микроорганизмы, среда (рис. 3).



Рис. 3. Биокоррозия: материалы – микроорганизмы – среды.

Для того чтобы показать очевидную опасность биокоррозии различных цементных материалов в среде грунтовых вод, необходим анализ воздействия биопленок, сформированных различными видами микроорганизмов, на цементном материале [1, 3].

Поведение цементных материалов связано с многочисленными физико-химическими параметрами: химический состав, пористость, состояние поверхности.

Различные свойства цементных материалов связаны одновременно с начальным составом свежеприготовленного раствора (марка цемента, физико-химическая природа наполнителя) и его производства (количество воды, опалубка, вибрация).

Марка цементных материалов изменяется в зависимости от базового состава исходного сырья: составляющие цементного раствора – только цемент и вода; составляющие строительного

раствора: цемент, вода, песок; составляющие бетонов: цемент – 7-14% объема; воды – 14-22% объема; песок и более крупный заполнитель – 60-70% объема; адьюванты – менее 2% объема.

Свежеприготовленный бетон содержит 1-6% воздуха в объеме.

Рецептура цементных материалов должна интегрировать разные параметры, такие как тип требуемого изделия, сроки реализации изделия, качество материальной базы. Эта формулировка должна позволить ответить на требования долговечности, прочности, свойств изоляции и герметичности, а также эстетичности.

Сопротивление биокоррозии связано с несколькими характеристиками присущим используемому сырью. Эти параметры связаны главным образом с составом и пористости бетона.

Любая пористая среда создана двумя областями: строительная конструкция (внешняя оболочка) и ее наполнение, которое создает пористый объем. Объем пор обычно занят жидкостью и газами (вода, воздух, масло, метан, диоксид углерода и т.д.).

Пористость бетонов проявляется как крайне значимый параметр, так как он обуславливает шероховатость площади поверхности, таким образом, что определяет количество воды потенциально представленного в материале. Материал имеющий высокий процент пористости представляет значительную площадь реакции между материалом и агрессивными химическими веществами, с которыми он в контакте. Это приводит к более высоким скоростям потенциального разрушения. Например, бетон плохого качества, имеющий многочисленные микротрещины на поверхности, представляя обширную площадь для реакций и позволяет, таким образом, развитие более интенсивной деградации, чем бетон без микротрещин. Кроме того, наличие пористости, объединенной в единую систему, позволяет микроорганизмам легче проникать в толщу материала и, следовательно, быстро достигать здоровых зон. Таким образом, высокая пористость материалов обуславливает быстрое продвижение фронта деградации.

Сеть пор цементных материалов покрывает широкий интервал масштабной шкалы (от микрометра до сантиметра). Эта широкая гамма масштаба пористости обязывает совместное использование различных средств исследования, такие как измерение пор внедрением ртути или воды для определения общей пористости материала.

Поры в цементных материалах подразделяются на: воздушные пустоты, в основном сферической формы и размером более 50 мкм. Эти пустоты образованы захватом материалом пузырьков воздуха, которые не достигают поверхности несмотря на сдавливание и вибрацию цементной массы; капиллярные поры, они могут быть

образованы в виде извилистых трубок, диаметр которых изменяется от 1 до 50 мкм. Эти поры связаны с увлажнением цемента, называемой «зоной межфазного перехода», которая расположена на границе раздела между раствором и зернами минерального наполнителя или любого другого инертного элемента, включенного в материал. Толщина зоны межфазного перехода, которая зависит от нескольких факторов и может изменяться в интервале приблизительно от 20 до 150 мкм; поры замораживания – эти поры связаны со слоистой структурой гидратированного силиката кальция ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{Ca}_4\text{SiO}_4$ ,  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ) и размерами пор порядка нанометров.

Цементные материалы представляют шероховатые поверхности. Главным фактором, влияющим на топографию площади цементных материалов, является наличие пор на поверхности материала, которое порождает сильный рост потенциальных площадей реакции между материалом и внешними элементами. Шероховатость может также благоприятствовать аккумулярованию питательных веществ или бактерий и, таким образом, облегчить колонизацию поверхности.

Граница раздела материал-внешняя среда создает доступ прохода внутрь материала так же как поверхность реакции материала с элементами

внешней среды. Пористость цементных материалов не является однородной во всем объеме изделия. Эта переходная зона между внешней средой и материалом названа пленкой, которая является первой зоной материала, находящейся в контакте с агрессивными элементами (механические, химические, физические, биологические). Биопленка имеет переменную толщину и может достигать несколько сантиметров. Наличие сети пор, создают зону, в которой капиллярные передачи функционируют на поверхности и в глубине строительного бетонного изделия.

Для определения воздействия микроорганизмов на разрушение материалов имеются технические разработки по измерению биокоррозии, чтобы измерить микроскопические характеристики образцов: потеря массы, изменение размеров, изменение механических свойств, оценить действие среды на биокоррозию материалов: изменение pH среды, изменение количества ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Si}^{2+}$ .

Но эти технические разработки не позволяют оценить локальные изменения структуры материалов [2, 4, 5].

Анализ цементных образцов, погруженных в культуральную среду, благоприятной для развития сульфат-восстанавливающих и тиосульфат-восстанавливающих бактерий, показывает, что все марки цемента являются колонизованными (рис. 4).



Рис. 4. Колонизация поверхности цементных строительных образцов. Ув. 100<sup>x</sup>

Сульфат-восстанавливающие бактерии показывают высокую способность колонизации цементных материалов, когда объединяются благоприятные условия для их развития. Идентификация бактерий, жизнедеятельность которых связана с грунтовыми водами: тиосульфат-восстанавливающие бактерии *Desulfovibrio vulgaris*, сульфат-восстановительные бактерии *Desulfovibrio gigas*, и сульфид-окисляющие бактерии *Thiobacillus thiooxidans* произведена в грунтовых водах в течение исследованных процессов.

Цементные материалы – это композитные гетерогенные материалы, пористые, шероховатая поверхность которых значительна. Структура сети

пор дает возможность проникновения химических элементов внешней среды внутрь материала. В случае биокоррозии цементных материалов, этими внешними элементами могут быть микроорганизмы, мхи, грибы или химические соединения секретируемые микроорганизмами.

Идентификация бактерий, жизнедеятельность которых связана с грунтовыми водами, позволяет оценить степень риска, индуцированного бактериями на цементных строительных структурах, при соприкосновении с грунтовыми водами и дает возможность прогноза биокоррозии бетонных строительных изделий.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *De beville N.* Experimental research and prediction of the effect of chemical and biogenic sulfuric acid on different types of commercially produced concrete sewer pipes // *Cement and Concrete Res.* 2004. V. 34. №. 12. P. 2223-2236.
2. *Guillitte O., Dreesen R.* Laboratory chamber studies and petrographical analyses as bioreceptivity assesement tools of building materials // *Sci. Total Environ.* 1995. V. 197. № 3. P. 365-374.
3. *Flemming H.C.* Biofilmas a particular from of microbial life in Biofouling and corrosion in industrial waster systems. 1991. P. 1-9.
4. *Roche Y., Niel P.* Analyse en microbiologie Produits non steriles // *Techniques de l'Ingenier.* 2006. P. 3352.
5. *Yamanaka T. et al.* Corrosion by bacteria of concrete in sewerage systems and inhibitory effects of formats their growth // *Water Res.* 2002. V. 36. № 10. P. 2636-2642.

**BIOCORROSION OF CONCRETE CONSTRUCTION IN CONTACT WITH FRESH WATER**

© 2011 A.A. Denisov, A.M. Ganyaev

All-Russian Research and Technological Institute of Biological Sciences Industry of RAAS, Shchelkovo

Presented by the definition the influence of biological factors in the aging of concrete structures, as well as the risk of biological corrosion of building structures and facilities, that are in contact with groundwater.

**Key words:** *biocorrosion, cement construction, ground waters.*