

КОЛЬМАТАЦИЯ И ЗАЛЕЧИВАНИЕ ТРЕЩИН В БЕТОНЕ

С.Р. ТУРУТОВА, директор по сбыту и маркетингу ООО «Полипласт Северо-Запад»;

Н.Н. КАЛИНОВСКАЯ, канд.техн. наук, руководитель НТЦ ООО «ПолипластХИМ», г. Минск, Республика Беларусь;

А.Г. ШВЕД, технический Директор ООО «ПолипластХИМ», г. Минск, Республика Беларусь.

Ключевые слова: залечивание трещин, кольматирующая добавка, усадочные деформации, капиллярный подсос

Keywords: crack healing, bridging agent, shrinkage deformation, capillary suction



Получение конструкционного бетона высокой водонепроницаемости представляет собой сложную инженерную задачу, которая требует реализации трех основных направлений. Во-первых, необходимо обеспечить отсутствие трещин в конструкции, что достигается с помощью специального подбора состава бетона и качественного ухода за ним. Во-вторых, требуется создание плотного, водонепроницаемого массива бетона, что возможно за счет уменьшения пористости посредством снижения водоцементного отношения и введения специальных добавок. В-третьих, важно наличие в бетоне компонентов, способствующих залечиванию трещин в процессе эксплуатации конструкции.

Для этих целей предназначена добавка Полипласт СА. Она разработана для бетонов, требующих повышенной непроницаемости и стойкости при воздействии воды. Полипласт СА снижает проницаемость бетона в 2,2 раза, уменьшает капиллярный подсос (в 1,7 раза для бетонов и 2 раза для растворов), снижает усадочные деформации (на 62-77% в первые сутки твердения и на 19-22% при последующем твердении до 28 суток), а также способствует зарастанию трещин в бетоне. Применение Полипласт СА в совокупности с правильно подобранным составом и технологией бетона обеспечит устойчивость железобетонной конструкции по отношению к воде.

Achieving structural concrete with high water resistance is a complex engineering task that requires the implementation of three main directions. Firstly, it is necessary to ensure that there are no cracks in the structure, which is achieved by a special choice of concrete composition and high-quality moisture care. Secondly, it is necessary to create a dense, waterproof concrete mass, which is possible by reducing the porosity by reducing the water-cement ratio and introducing special additives. Thirdly, it is important to have components in the concrete that promote the healing of cracks during the service life of the structure. Polyplast CA has been developed for these purposes. It is specially designed for concretes that require increased impermeability and resistance to water. Polyplast CA low permeability of concrete by 2.2 times, reduces capillary suction (by 1.7 times for concrete and 2 times for mortar), low shrinkage deformations (62-77% in the first day of hardening and by 19-22% subsequently). hardening up to 28 days), and also provides for healing of cracks in concrete. The use of Polyplast CA in combination with correctly selected concrete composition and technology ensures the stability of the reinforced concrete structure in relation to water.

Введение

Современное строительство и инфраструктурные проекты требуют использования материалов с высокой прочностью, долговечностью и устойчивостью к различным эксплуатационным условиям. Особую сложность представляют собой бетоны, которые в процессе эксплуатации контактируют с водой и должны демонстрировать водонепроницаемость.

Обеспечение водонепроницаемости конструкции обеспечивается выполнением двух условий.

Первое условие заключается в отсутствии трещин (особенно сквозных) в конструкции. Они не только резко снижают водонепроницаемость конструкции, но и являются «воротами» для агрессивных веществ, в первую очередь хлоридов, которые могут вызвать коррозию арматуры. Таким образом, для получения водонепроницаемой конструкции необходимо проектирование состава бетона с минимальными усадочными деформациями. При этом используются такие традиционные способы, как увеличение содержания крупного заполнителя в бетоне, который образует каркас, а также введение в состав бетона фибры, различных волокон, которые увеличивают прочность бетона на растяжение, что препятствует образованию трещин. Также применяются специальные добавки для уменьшения усадки типа SRA (shrinkage reducing admixtures) на основе гликолей и расширяющие добавки различного типа, которые компенсируют усадочные деформации. Для высокопрочного бетона, в котором трещины образуются в основном в результате аутогенной усадки, помимо выше обозначенных, применяют такие методы, как введение в состав бетона суперабсорбирующих полимеров или насыщенного водой керамзитового песка.

Второе условие — это обеспечение водонепроницаемости непосредственно бетона. Несмотря на использование бетонов с низким водоцементным отношением, в реальности ни одна бетонная конструкция не является абсолютно герметичной. Это обусловлено содержанием в бетоне системы капилляров, пор, микротрещин. Даже при отсутствии гидростатического давления вода может проникать в бетон за счет действия капиллярных сил.

Решение данного вопроса заключается в проектировании бетонов с минимально возможными водопоглощением и водопроницаемостью, что достигается снижением водоцементного отношения. Кроме того, существует ряд добавок, которые снижают проницаемость бетона. Действие таких добавок основано на реакции с гидроксидом кальция и другими продуктами гидратации клинкерных минералов в бетоне и образовании нерастворимых кристаллов, которые заполняют поры и микротрещины и препятствуют их дальнейшему распространению. Такие добавки снижают общую пористость бетона, уплотняя его структуру

и предотвращая проникновение воды и агрессивных химических веществ.

Есть некоторые различия в описании данного типа добавок в нормативной документации разных стран. Так в нормативных документах России (ГОСТ 24211) и Беларуси (СТБ 1112) данный тип добавок относится к «снижающим проницаемость». При этом по ГОСТ 24211 критерием оценки служат увеличение водонепроницаемости и снижение коэффициента диффузии. Специалисты часто называют такие добавки кольматирующими и гидроизоляционными.

Европейский стандарт 934-2 классифицирует данные добавки как добавки для увеличения водонепроницаемости (water resisting admixture) и устанавливает следующие критерии оценки: капиллярный подсос, прочность на сжатие и содержание воздуха в бетонной смеси.

Американский стандарт ACI 212.3R-16 относит данные добавки к категории снижающих проницаемость (permeability-reducing admixtures PRA). PRA подразделяются в зависимости от их способности снижать проницаемость бетона, находящегося под действием гидростатического давления (permeability-reducing admixtures exposed to hydrostatic conditions) или без него (permeability-reducing admixtures submitted to non-hydrostatic conditions). Критерии оценки эффективности добавки устанавливаются производителем.

Третье условие непроницаемости конструкции заключается во введении в бетон специальных добавок, способствующих заживлению уже образовавшихся трещин [1, 2, 3]. Данные добавки, в английском языке получившие название «кристаллических» (crystalline admixtures), являются темой настоящей статьи. Эти добавки, обладающие свойством залечивать, заживлять трещины размером до 0,5 мм, способствуют продлению срока эксплуатации конструкции. Их можно использовать для увеличения водонепроницаемости бетона, при наличии технологических швов в конструкции и любых других сооружениях, на которые действует вода.

В данной статье приведены результаты определения свойств бетона с добавкой Полипласт СА. Она предназначена для производства сборных и монолитных железобетонных конструкций, в том числе преднапряженных, которые могут применяться для водоочистных и морских сооружений, плотин, мостов, подвалов, фундаментов, автостоянок, подпорных стен, туннелей и метрополитена, резервуаров для воды, в т.ч. питьевой, бассейнов и любых бетонов, подвергаемых воздействию влажных и агрессивных сред.

Методы и материалы

Поскольку предполагается использование Полипласт СА как в сборном, так и в товарном бетоне, то определялась сохраняемость бетонной смеси. Также

ТАБЛИЦА 1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕТОНА С ДОБАВКОЙ ПОЛИПЛАСТ СА

Параметры контроля	Методы
Проницаемость бетона для воды	Методика DIN 1048-5 (с изменениями): Образцы цилиндры контрольного и основного составов (по 6 образцов) выдерживаются 28 суток в нормально-влажностных условиях. Образцы подготавливают в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.5 и устанавливают в гнезда установки для определения водонепроницаемости. Поддерживают давление воды 0,5 МПа в течении 72 часов. Затем образцы раскалываются, маркером очерчивается зона проникновения воды. Определяется максимальная глубина проникновения воды (в мм)
Капиллярный подсос	Методика ГОСТ 31356-2007 (с изменениями): Образцы-кубы после твердения высушиваются до постоянной массы, боковые грани обмазываются водонепроницаемым составом (расплавленным парафином). Определяются размеры и масса образцов. Образцы помещают непокрытой гранью в ванну на сетчатую подставку. Ванну заполняют водой температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ так, чтобы торец был погружен в воду на 5-10 мм. Уровень воды в ванне должен поддерживаться постоянным в течение всего времени испытания
Прочности на сжатие	ГОСТ 10180
Линейные усадочные деформации	Изготавливаются образцы-призмы $40 \times 40 \times 160$ мм, определение линейных усадочных деформаций начинается через 24 суток после укладки бетона
Залечивание трещин до 0,5 мм	Искусственно создается трещина шириной раскрытия от 0,3 до 0,5 мм. Затем бетон выдерживается в воде в течении 3 месяцев, в течении которого ведется наблюдение за заживлением трещины

определяли совместимость Полипласт СА с двумя белорусскими цементами, совместимость с различными типами пластификаторов (лигно-, нафталинсульфонаты, поликарбоксилаты) и влияние на водонепроницаемость, капиллярный подсос и способность залечивать трещины. Методики испытания приведены в табл. 1.

Использовались следующие материалы: цемент СЕМ I 42.5 Красносельскстройматериалы, СЕМ II В-Ш 42.5 Белорусский цементный завод, песок карьер «Крапужино» Минский район $M_k=2,53$, щебень фр. 5-20 ПРУП «Гранит». Состав бетона: по ГОСТ 30459 ($\text{Ц} = 350 \text{ кг/м}^3$, $\text{П}/(\text{П}+\text{Ш}) = 0,4$, $\text{В}/\text{Ц} = 0,48$).

Результаты и обсуждение

1. В случае использования Полипласт СА в монолитном бетоне **сохраняемость бетонной смеси** с добавкой может иметь решающее значение. Изменение подвижности бетонной смеси с/без добавки Полипласт СА показано на рис. 1. Из результатов эксперимента следует, что введение добавки Полипласт СА в количестве 1% несколько не ухудшает сохраняемость бетонной смеси, а также то, что при использовании данной добавки начальная удобоукладываемость и сохраняемость бетонной смеси будут определяться типом использованного пластификатора.

Учитывая тот факт, что получение непроницаемых бетонов крайне затруднительно без использования пластификаторов, то следующим шагом было исследование «совместимости», то есть отсутствия взаимного отрицательного влияния Полипласта СА и трех типов пластификаторов: лигносульфонатов, нафталинсульфонатов, поликарбоксилатов.

2. **Совместимость с лигно-, нафталинсульфонатами, поликарбоксилатами.** Определялось влияние на удобоукладываемость, сохраняемость в течении 60 мин, прочность на сжатие. Из результатов эксперимента (табл. 2) следует, что добавка Полипласт СА не оказывает заметного влияния на исследованные характеристики бетона и смело может применяться в сочетании в любыми типами пластификаторов, а также их ком-

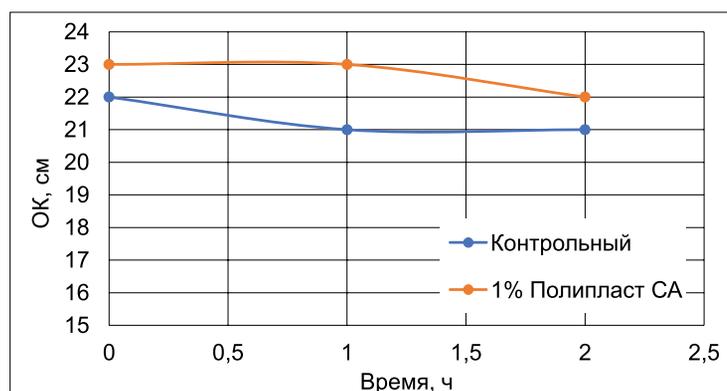


Рис. 1. Сохраняемость бетонной смеси с и без добавки Полипласт СА



Рис. 2. Проницаемость бетона без (сверху) и с (снизу) добавкой Полипласт СА

бинациями (например, поликарбоксилаты и лигносульфонаты).

3. Проницаемость бетона. Водонепроницаемость бетона является одним из основных требований, предъявляемых к конструкциям, контактирующим с водой. Следует отметить, что для бетонов высокой водонепроницаемости определение по стандартной методике на стандартной

ТАБЛИЦА 3. ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ПРИ КАПИЛЛЯРНОМ ПОДСОСЕ

Состав бетона	Дозировка, % от массы цемента	В/Ц	Водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/м ²
Испытание строительного раствора			
Контрольный (без добавки)	0	0,3	3,9
Полипласт СА	1	0,3	2,0
Испытание бетона			
Реламикс ПК	0,24	0,45	3,2
Полипласт СА + Реламикс ПК	0,24	0,45	1,8

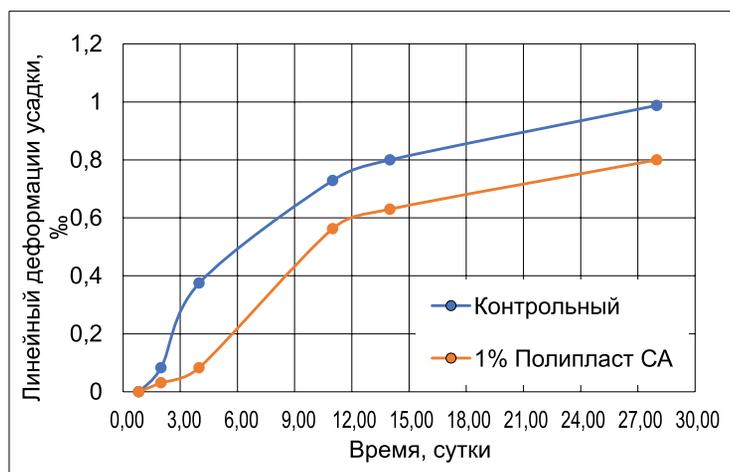


Рис. 3. Линейные усадочные деформации цементно-песчаного раствора

лабораторной установке не имеет смысла, поскольку не имеется возможности определения водонепроницаемости более W20. Поэтому была использована методика DIN 1048-5, описанная в табл. 1. Из результатов эксперимента видно, что добавка Полипласт СА в 2,2 раза снизила глубину проникновения воды в бетон (рис. 2).

4. Капиллярный подсос крайне важен для бетонов, которые не находятся под действием гидростатического давления, однако контактируют с водой. Результаты, приведенные в табл. 3, демонстрируют, что введение добавки Полипласт СА значительно снизило водопоглощение при капиллярном подсосе. Так, при сравнении с бездобавочным раствором водопоглощение при капиллярном подсосе снизилось почти в 2 раза. На бетоне, при совмещении поликарбоксилатного пластификатора Реламикс ПК и Полипласт СА, водопоглощение снизилось в 1,7 раза.

5. Усадочные деформации. Какими бы усилиями технологи ни стремились обеспечить непроницаемость бетона, все эти усилия окажутся напрасными, если в конструкциях присутствуют трещины. Наличие трещин не только снижает прочностные характеристики бетона, но и способствует проникновению влаги и агрессивных веществ, что в конечном итоге приводит к коррозии арматуры и разрушению конструкции.

Добавка Полипласт СА не является компенсирующей усадку. Однако проведенные исследования показали, что линейные усадочные деформации цементно-песчаного раствора с данной добавкой значительно уменьшаются. На рис. 3 представлена динамика усадочных деформаций с добавкой Полипласт СА и без неё. Введение добавки позволяет уменьшить усадочные деформации на 62-77% в первые сутки твердения и на 19-22% при последующем твердении до 28 суток.

6. Заживление трещин. Фиксация процесса заживления трещин в бетоне представляет собой сложную и продолжительную задачу, требующую тщательного и систематического подхода. Как показал обзор литературы, данный процесс в основном исследуется на образцах, погруженных в воду, либо над трещиной создается столб жидкости, например, пробирка с постоянным уровнем воды.



Рис. 4. Примеры зарастания трещин

Наблюдение за зарастанием трещин обычно проводится с помощью микроскопа, что позволяет детально фиксировать изменения в структуре бетона. Авторы данной статьи применили данный метод для исследования процессов заживления трещин в бетоне с добавкой Полипласт СА. В ходе эксперимента бетонные образцы были погружены в воду, и процесс заживления трещин контролировался с использованием микроскопа (рис. 4). Первые признаки зарастания трещин на составе с добавкой Полипласт СА были зафиксированы уже через месяц после погружения в воду. Зарастание трещин бетона без добавки началось около 3 месяца твердения и проходило менее интенсивно. Это свидетельствует о высокой эффективности данной добавки в ускорении процесса самозалечивания трещин.

Заключение

1. Получение конструкционного бетона высокой водонепроницаемости это сложная инженерная задача, которая должна решаться по 3 направлениям:

1). Обеспечение отсутствия трещин в конструкции путем специального подбора состава бетона и качественного ухода за бетоном.

2). Создание плотного, водонепроницаемого массива бетона путем уменьшения пористости бетона за счет снижения водоцементного отношения и введения специальных добавок.

3). Введение в бетон компонентов, которые обеспечат заживление трещин в процессе эксплуатации конструкции.

2. Для этих целей была разработана и испытана добавка Полипласт СА, которая является кольматирующей добавкой (снижает

проницаемость бетона в 2,2 раза, уменьшает капиллярный подсос (в 1,7 для бетонов и в 2 раза для растворов), снижает усадочные деформации (на 62-77% в первые сутки твердения и на 19-22% при последующем твердении до 28 суток), а также способствует зарастанию трещин в бетоне. Добавка совместима с любыми типами пластификаторов и не влияет на технологические свойства бетонной смеси.

3. Результаты демонстрируют, что Полипласт СА не только улучшает водонепроницаемость бетона, но и снижает его усадочные деформации, что способствует снижению вероятности образования трещин, а также ускоряет процесс зарастания трещин, что в конечном итоге снижает вероятность дальнейшего развития повреждений и увеличивает срок службы конструкций. Таким образом, применение Полипласт СА является важным шагом в обеспечении надежности и долговечности бетонных сооружений.

Библиографический список

1. M. Roig-Flores, F. Pirritano, P. Serna, L. Ferrara, *Effect of crystalline admixtures on the self-healing capability of early-age concrete studied by means of permeability and crack closing tests, Construction and Building Materials, Volume 114, 2016, Pages 447-457, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.196>.*
2. Ahn, Tae-Ho & Kishi, Toshiharu. (2010). *Crack Self-healing Behavior of Cementitious Composites Incorporating Various Mineral Admixtures. Journal of Advanced Concrete Technology – J ADV CONCR TECHNOL.* 8. 171-186. 10.3151/jact.8.171.
3. Pazderka, Jiri & Hójková, Eva. (2016). *Crystalline admixtures and their effect on selected properties of concrete. Acta Polytechnica.* 56. 291. 10.14311/AP.2016.56.0306.