

Высокоэффективный состав для первичной и вторичной защиты железобетонных конструкций

М.И. КУЗЬМЕНКОВ, доктор техн. наук, О.Е. ХОТЯНОВИЧ, канд. техн. наук – Белорусский государственный технологический университет

Часть 1

Рассматриваются свойства высокоэффективного состава на основе гексафторсиликата магния для первичной и вторичной обработки бетонных и железобетонных изделий с целью увеличения их долговечности.

В ряду важнейших проблем строительной отрасли особое место занимает задача повышения эксплуатационной надежности и долговечности бетонных и железобетонных конструкций.

В настоящее время разработан ряд мероприятий, обеспечивающих снижение агрессивного воздействия на бетон, основными из которых являются:

- применение специальных цементов с относительно малым содержанием алита, трехкальциевого алюмината и четырехкальциевого алюмоферрита;
- введение в состав цемента при помоле клинкера кислых минеральных добавок вулканического или осадочного происхождения, содержащих активный кремнезем;
- повышение тонкости помола цемента;
- хорошее уплотнение бетонной массы.

Вышеперечисленные мероприятия относятся к мерам первичной защиты бетона. Однако они не всегда приводят к желаемому результату. Поэтому возникает необходимость применения мер вторичной защиты, которые предполагают поверхностную обработку (пропитку) сформированного бетона различными составами, изменяющими физико-химические и физико-механические свойства цементного камня и бетона [1].

В настоящее время для вторичной обработки бетонов предлагается целый ряд реагентов, начиная с растительных масел и заканчивая растворами и эмульсиями на основе неорганических и органических соединений. В частности, это пропиточные составы импортного производства: CHEM-CRETE CCC100 и CHEM-CRETE CCC1000 (фирма «CHEM-CRETE», США), SikaGard 700S, SikaGard 702W и SikaFerroGard 903 (фирма «Sika», Швейцария), ПЕНЕКО ЭКСТРА R и Гидрофоб (фирма «СТАХЕМА», Словакия), Burke-O-Lith (фирма «Burke», США); а также составы отечественного производства: САК (ДУП «Мадикор» РУП «БелдорНИИ»), Строп (ООО «Полихим»), Аутокрин-177 (НПО «Алкид»), грунтовка гидрофобизирующая Г-88 (ЗАО «Парад») и другие [2, 3]. Однако указанные пропиточные композиции широкого распространения не получили из-за дефицитности, высокой стоимости или токсичности.

Одним из эффективных способов поверхностной обработки бетона является флюатирование – пропитка изделий растворами гексафторсиликатов магния, кальция, цинка и других металлов (флюаты). Водный раствор флюата, нанесенный на поверхность бетона, проникает по порам внутрь камня и взаимодействует с гидроксидом и карбонатом кальция. В результате протекающих реакций в порах образуются нерастворимые соединения CaF_2 , MgF_2 и SiO_2 , которые заполняют поры и предотвращают проникновение агрессивных сред внутрь бетона. Однако и это направление практического применения не нашло из-за отсутствия в странах СНГ, в том числе и в Республике Беларусь, производства флюатов.

На кафедре «Химическая технология вяжущих материалов» БГТУ проведены исследования по синтезу гексафторсиликата магния, оптимизированы технологические параметры и разработан технологический процесс его получения, разработаны технология получения гексафторсиликата магния и пропиточный состав на его основе.

При разработке пропиточного состава на основе MgSiF_6 проводили оценку защитных свойств комплексно: по величине и изменению во времени показателей капиллярного водонасыщения, водопоглощения, прочности на сжатие и изгиб, морозостойкости и атмосферостойкости.

Для проведения испытаний были изготовлены образцы-кубы с размером ребра 70 мм из бетонной смеси следующего состава: цемент – 350 кг/м³; щебень фракции 5–20 мм – 1220 кг/м³; песок с модулем крупности 2,4 – 750 кг/м³; вода – 155 кг/м³.

В бетонную смесь вводили пластификатор С-3 в количестве 0,7% от массы цемента. Образцы подвергали тепловлажностной обработке и по достижении ими возраста 28 суток хранили в ванне с гидравлическим затвором в нормальных условиях. Непосредственно перед обработкой пропиточными составами производили подготовку образцов, включающую обезжиривание, очистку проволочной щеткой и обеспыливание поверхностей граней путем промывки под струей воды, а также высушивание в сушильном шкафу при температуре 70 ± 5 °С в течение одних суток.

На первом этапе работы была проведена серия экспериментов по оптимизации режима поверхностной обработки бетона водным раствором гексафторсиликата магния, т.е. определена кратность пропитки и концентрация раствора MgSiF_6 для каждого слоя.

Концентрация гексафторсиликата магния в растворе варьировалась в диапазоне от 5 до 25 масс.%. Более концентрированные растворы не применялись, поскольку при содержании MgSiF_6 выше 25 масс.% образуется перенасыщенный раствор. Нижний концентрационный предел обусловлен тем, что, как показали предварительные испытания, эффект защиты такими растворами незначителен. При 2-х и 3-х кратной пропитке бетонных образцов обработка проводилась начиная с раствора меньшей вязкости, что способствовало более глубокому проникновению пропиточного состава.

Результаты определения водопоглощения и капиллярного водонасыщения образцов бетона, пропитанных раствором гексафторсиликата магния различной концентрации и кратности обработки, приведены в таблице 1.

При увлажнении бетона посредством капиллярного подсоса в процессе наблюдений отмечено снижение водонасыщения образцов, обработанных по всем режимам. Максимальный эффект в снижении капиллярного водонасыщения, равный 24–58% в течение четырех суток, характерен для образцов бетона, обработанных по режимам № 3, 5 и 6. Однако водопоглощение образцов бетона, пропитанных по всем режимам, снизилось незначительно, а для отдельных образцов значения этого показателя даже превысили контрольные.

Таблица 1

Водопоглощение и капиллярное водонасыщение образцов бетона, пропитанных раствором гексафторсиликата магния									
№ режима обработки образцов	Кратность пропитки и концентрация раствора, %	Водопоглощение, %, через				Капиллярное водонасыщение, %, через			
		1 сут.	2 сут.	3 сут.	4 сут.	1 сут.	2 сут.	3 сут.	4 сут.
1	Контрольные образцы (без пропитки)	3,1	3,2	3,2	3,2	1,2	1,6	1,9	2,1
2	1-5; 2-7; 3-10	3,2	3,2	3,3	3,3	1,0	1,4	1,7	1,8
3	1-5; 2-10; 3-15	3,2	3,2	3,2	3,2	0,7	1,1	1,4	1,6
4	1-5; 2-10; 3-25	3,4	3,6	3,6	3,6	1,1	1,4	1,6	1,6
5	1-5; 2-10	3,1	3,2	3,2	3,2	1,0	1,3	1,4	1,6
6	1-5; 2-15	2,9	3,0	3,0	3,0	0,5	0,8	1,0	1,3
7	1-10; 2-25	3,2	3,2	3,2	3,1	1,1	1,5	1,6	1,7

Таблица 2

Прочность на сжатие образцов бетона, пропитанных раствором гексафторсиликата магния				
№ режима обработки образцов	Кратность пропитки и концентрация раствора, %	Прочность на сжатие, МПа		Потеря (прирост) прочности, %
		до замораживания	после 300 циклов замораживания-оттаивания	
1	Контрольные образцы (без пропитки)	37,4	34,3	-8,3
2	1-5; 2-7; 3-10	40,4	48,9	+21,0
3	1-5; 2-10; 3-15	39,8	47,6	+19,6
4	1-5; 2-10; 3-25	44,2	46,6	+5,4
5	1-5; 2-10	41,6	52,5	+26,2
6	1-5; 2-15	44,9	58,4	+30,1
7	1-10; 2-25	42,1	48,7	+15,7

Результаты испытаний на морозостойкость (см. таблицу 2), показали, что после 300 циклов попеременного замораживания-оттаивания прочность образцов бетона, обработанных раствором гексафторсиликата магния, возросла на 5–30%, в то время как прочность контрольных образцов снизилась на 8,3%. При этом максимальный прирост прочности характерен для образцов, обработанных по режимам № 2, 5 и 6.

Таким образом, оптимальным режимом обработки бетона является его пропитка в два приема с концентрацией гексафторсиликата магния 5 и 15 масс.%. Разработанный пропиточный состав получил техническое название «Сифтом».

В настоящее время для антикоррозионной защиты наиболее ответственных бетонных и железобетонных конструкций используется пропиточный состав «Burke-0-Lith» производства американской фирмы «Burke», который в настоящее время является монопольным продуктом этого класса на строительном рынке СНГ. Действующим веществом в нем является гексафторсиликат магния. Для оценки эффективности защитных свойств пропиточного состава «Сифтом» проведены комплексные сравнительные испытания образцов бетона, обработанных растворами «Сифтом» и «Burke-0-Lith».

Показатели водопоглощения образцов при погружении в воду приведены в таблице 3.

Видно, что через 0,5–4 ч после пропитки бетона раствором «Сифтом» в сравнении с контрольными образцами достигается снижение водопоглощения на 36,8 и 16,7% соответственно. У образцов, обработанных «Burke-0-Lith», водопоглощение находится приблизительно на том же уровне.

Полученные результаты объясняются прежде всего тем, что в результате возникающих диффузионных процессов гексафтор-

Таблица 3

Водопоглощение образцов бетона, пропитанных антикоррозионными составами							
Антикоррозионный состав	Водопоглощение, %, через						
	0,5 ч	1 ч	4 ч	1 сут.	2 сут.	3 сут.	6 сут.
Контрольные образцы (без пропитки)	1,9	2,2	3,0	3,1	3,2	3,2	3,4
«Сифтом»	1,2	1,5	2,5	2,9	3,0	3,0	3,1
«Burke-0-Lith»	1,3	1,5	2,4	2,9	2,9	3,0	3,2

Таблица 4

Капиллярное водонасыщение образцов бетона, пропитанных антикоррозионными составами				
Антикоррозионный состав	Капиллярное водонасыщение, %, через			
	1 сут.	2 сут.	3 сут.	6 сут.
Контрольные образцы (без пропитки)	1,2	1,6	1,9	2,4
«Сифтом»	0,5	0,8	1,0	1,5
«Burke-0-Lith»	0,6	0,7	1,0	1,6

силикат магния перемещается с поверхности бетонного образца вглубь капилляров, пустот и микротрещин в бетонном массиве, где в результате взаимодействия с гидроксидом и карбонатом кальция образуются нерастворимые соединения. Внутрикапиллярное кристаллообразование уплотняет структуру бетона, т.е. обеспечивается кольматация порового пространства, что препятствует фильтрации воды и растворов.

Для изучения природы новообразований было проведено сравнительное рентгенографическое исследование цементного камня, обработанного пропиточным составом «Сифтом» и контрольного (непропитанного) образца. На рентгенограмме последнего присутствуют пики ($d = 4,90; 2,63; 1,93; 1,80 \text{ \AA}$), соответствующие $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в то время как у пропитанного раствором «Сифтом» они не наблюдаются, однако появляются рефлексы, характерные для MgF_2 ($d = 3,27; 1,71; 1,38 \text{ \AA}$) и CaF_2 ($d = 3,5; 1,93; 1,65 \text{ \AA}$).

Таким образом, установлено, что в результате обработки цементного камня пропиточным составом «Сифтом» водорастворимый гидроксид кальция взаимодействует с гексафторсиликатом магния с образованием водонерастворимых фторидов магния и кальция.

При увлажнении бетона за счет капиллярного подсоса (см. таблицу 4) раствор «Сифтом» также не уступает пропиточному составу «Burke-0-Lith».

При однократном капиллярном водонасыщении образцов бетона, пропитанных антикоррозионными составами, снижение водонасыщения у образцов, обработанных раствором «Сифтом», составляет от 58,3 до 37,5% в течение 1–6 суток испытаний.

Библиографический список:

1. Шейнин А.М., Эжель С.В. Об эффективности вторичной защиты дорожного бетона // Наука и техника в дорожной отрасли. 2004. № 1. С. 19–23.
2. Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Полушкин А.И. Новые эффективные материалы для вторичной защиты железобетонных конструкций // Бетон и железобетон – пути развития: Науч. труды 2-й Всероссийской конф. по бетону и железобетону. Москва, 5–9 сентября 2005 г. М.: Дипак, 2005. Т. 4. С. 509–511.
3. Защитные составы для борьбы с коррозией бетона в агрессивных средах / А.В. Мишин, А.В. Бусел, В.В. Шевчук и др. // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов: Материалы докладов МНТК. Минск, 9–10 ноября 2000 г. Минск, 2003. С. 233–235.