

УДК 691.535

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.143.2014.79025>

РУЛОННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ РЕМОНТА И ГИДРОИЗОЛЯЦИИ БЕТОННЫХ, ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Д-р техн. наук А.А. Плугин, кандидаты техн. наук Т.А. Костюк, В.А. Арутюнов, Н.Н. Паргала, Ю.А. Суханова

РУЛОННИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ РЕМОНТУ ТА ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ БЕТОННИХ, ЗАЛІЗОБЕТОННИХ І КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД

Д-р техн. наук А.А. Плугін, канд. техн. наук Т.О. Костюк, асп. В.А. Арутюнов Н.М. Паргала, Ю.А. Суханова

ROLL COMPOSITE MATERIAL FOR REPAIR AND WATERPROOFING OF CONCRETE, REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES AND BUILDINGS

Doct. of techn. sciences A.A. Plugin, cand. of techn. sciences T.A. Kostiuk, postgraduate V.A. Arutiunov, N.M. Partala, Yu.A. Sukhanova

Разработан рулонный композиционный материал для ремонта и гидроизоляции бетонных, железобетонных и каменных конструкций и сооружений. Материал состоит из нетканого материала объемной структуры, насыщенного сухой смесью портландцемента и комплекса химических добавок. При использовании насыщается водой и прижимается к защищаемой поверхности. Отвердевая, прочно сцепляется с основанием, приобретает высокую механическую прочность и водонепроницаемость. В результате физико-химических исследований установлены продукты гидратации цемента в присутствии добавок, обеспечивающие указанные свойства.

Ключевые слова: композиционный материал, портландцемент, химические добавки, ремонт, гидроизоляция.

Розроблено рулонний композиційний матеріал для ремонту і гідроізоляції бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій і споруд. Матеріал складається із нетканого матеріалу об'ємної структури, насиченого сухою сумішшю портландцементу і комплексу хімічних добавок. При використанні насичується водою і притискається до поверхні, що захищається. Тверднучи, міцно зчіплюється з основою, набуває високу механічну міцність і водонепроникність. У результаті фізико-хімічних досліджень установлені продукти гідратації цементу при наявності добавок, що забезпечують зазначені властивості.

Ключові слова: композиційний матеріал, портландцемент, хімічні добавки, ремонт, гідроізоляція.

Rolled composite material designed to repair and waterproofing of concrete, reinforced concrete and masonry structures and buildings. Stock material consists of a nonwoven three-dimensional structure, saturated dry mixture of portlandcement and a set of chemical additives. When using saturated water and pressed against the surface to be protected. When hardening is firmly engaged with the base, possesses a high mechanical strength and waterproofness. As a result of physico-chemical studies of cement hydration products in the presence of additives that provide these properties are detected.

Keywords: composite material, portlandcement, chemical additives, repair, waterproofing.

Введение. В настоящее время при ремонте, защите и гидроизоляции бетонных, железобетонных и каменных конструкций зданий и сооружений применяется большое количество разных материалов – сухие строительные смеси с широким диапазоном

защитных свойств, в том числе гидроизоляционные, рулонные материалы, полимерные пленки и мембраны, бентонитовые маты и т.д. [1-3]. Эти материалы имеют каждый свои недостатки, ограничивающие их области применения. Так, сухие смеси позволяют

устраивать защитно-гидроизоляционные слои, обладающие высоким сцеплением с защищаемыми поверхностями и выдерживающие гидростатическое давление любого знака, – как на прижим, так и на отрыв. Однако их механизированное нанесение (торкретирование) требует применения специального дорогостоящего оборудования, нанесение вручную – высокой квалификации и тщательного соблюдения технологии, а неточность в соблюдении рецептуры, например, передозировка воды, приводит к усадке, трещинообразованию и резкому снижению водонепроницаемости. Рулонные материалы, полимерные пленки и мембраны, бентонитовые маты работают только при их прижиге давлением воды, а при противоположном давлении нуждаются в устройстве прижимной стенки и, как правило, не могут выполнять несущих функций и т.п. Поэтому получение высококачественного материала, сочетающего в себе полезные свойства сухих смесей и рулонных материалов, является актуальной задачей.

Цель работы – получение материала для ремонта и гидроизоляции бетонных, железобетонных и каменных конструкций и сооружений, сочетающего в себе простоту применения, высокие сцепление с поверхностью, прочность при изгибе и растяжении, водонепроницаемость, не поддающиеся усадке и трещинообразованию.

Аналитический обзор литературных данных. Распространенным способом улучшения физико-механических характеристик цементных материалов для ремонтных и реставрационных работ – прочности при изгибе и растяжении, ударной вязкости, снижении истираемости остается введение армирующих волокнистых наполнителей – асбестовых, полипропиленовых, стеклянных [4, 5]. Повышение адгезии и водонепроницаемости таких композиций достигается преимущественно введением полимерных добавок [5]. Однако применение высокомолекулярных соединений сужает температурный интервал затвердевания до $+5-(+30)^{\circ}\text{C}$, что затрудняет применение материалов в осенне-зимне-весенний период.

В результате предыдущих исследований была разработана сухая строительная смесь на

основе портландцемента для ремонтных работ [6], в которой высокая прочность при изгибе и растяжении и трещиностойкость обеспечивается введением стекловолокна, а высокие адгезия и водонепроницаемость – химически активных добавок (ХАД). ХАД представляет собой многокомпонентную специально подобранную смесь гидроксидов, хлоридов, карбидов, нитратов, сульфатов натрия и кальция и обеспечивают уплотнение и повышение водонепроницаемости верхнего слоя защищаемого бетона. Механизм такого действия обусловлен диффузией компонентов ХАД в заполненные насыщенным раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$ поры и капилляры бетона за счет разницы их концентрации в жидкой фазе нанесенного материала и поровом электролите бетона. Компоненты ХАД и алюминаты цемента взаимодействуют с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием кристаллогидратов, кольматирующих (заращивающих) поры бетона. Недостатком данной смеси является возможность ее нанесения только приемами штукатурных работ.

В [7] показано, что дифференциальная пористость и водонепроницаемость цементного камня связаны зависимостью $K = A^{BE}$, где K – коэффициент проницаемости по воде, E – объем пор радиусом более 0,05 мкм, A и B – эмпирические константы, а поры радиусом менее 0,05 мкм (50 нм) водонепроницаемы. Полагаем, что такие поры в структурах продуктов гидратации формируются как межчастичные пустоты и по размерам сопоставимы с их частицами, поэтому для еще большего повышения водонепроницаемости затвердевшей смеси и кольматируемого порового пространства остаются резервы, заключающиеся в синтезе дополнительных продуктов гидратации, размер частиц которых не превышает 0,05 мкм.

Рабочие гипотезы. Замена в сухой смеси портландцемента, химически активных добавок, заполнителя и армирующего стекловолокна [6] последних двух компонентов рулонным волокнистым компонентом позволит получить самоклеящийся материал с более высокими прочностью при изгибе и растяжении, сцеплением с защищаемой поверхностью, водонепроницаемостью, не поддающийся усадке и трещинообразованию; для повышения водонепроницаемости цементного камня и кольматируемого порового

пространства следует синтезировать дополнительное количество продуктов гидратации, размер частиц которых не превышает 0,05 мкм.

Задачи исследований. Выбор рулонного волокнистого компонента и разработка способа его насыщения компонентами сухой смеси; разработка способа нанесения полученного рулонного композиционного материала РКМ на защищаемую поверхность; уточнение соотношения компонентов РКМ, определение его физико-механических и гидрофизических характеристик и сравнение с [6]; физико-химические исследования продуктов гидратации смеси для установления составляющих, обеспечивающих достижение требуемых характеристик.

Методы исследований. Физико-механические свойства РКМ определяли по ДСТУ Б.В.2.7-126 и ДСТУ Б.В.2.7-23 на образцах-балочках размером 16×4×4 см, изготовленных путем послойной закладки и вибрирования полос водонасыщенного РКМ в формы. Сцепление (адгезию) РКМ с поверхностью бетона определяли по ГОСТ 31356 на образцах, изготовленных путем его нанесения на плитки из бетона размером 20×20×4 см. Водонепроницаемость и морозостойкость РКМ определяли по ГОСТ 12730.5 с помощью прибора АГАМА-2РМ. Физико-химические исследования выполнили в составе

рентгенофазового анализа и дифференциального термического анализа. При расшифровке рентгенограмм и термограмм использовали данные [8, 9]. Структуру продуктов гидратации исследовали на сколах материала с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Результаты исследований. Для замены заполнителя и стекловолокна выбрали нетканый материал объемной структуры НМОС из полимерного волокна [10].

Насыщение НМОС остальными компонентами осуществляют следующим образом: сыпучие компоненты смешивают в сухом состоянии в соответствии с [6]; НМОС располагают горизонтально и путем воздушного распыления наносят на него водный раствор метилцеллюлозы; переворачивают НМОС, равномерно рассыпают по его обратной поверхности сухую смесь сыпучих компонентов и сворачивают в рулон смесь внутрь.

РКМ наносят на предварительно увлажненную защищаемую поверхность следующим образом: в емкость заливают воду из расчета 0,15–0,17 от массы РКМ; материал погружают в воду и выдерживают 30–60 с; после полного насыщения водой РКМ накладывают (раскатывают) внутренней стороной на поверхность наподобие «пластыря» (рис. 1).



Рис. 1. Рулонный композиционный материал РКМ и его применение:
а – рулон; б – водонасыщенный РКМ; в – наклеивание РКМ на поверхность – склейка двух бетонных труб

Результаты исследований РКМ при различных дозировках ХАД представлены в

таблице. Как видно из таблицы, при сопоставимой прочности при сжатии,

водонепроницаемости, морозостойкости
прочность РКМ при изгибе до 35 % выше,
сцепление с поверхностью бетона – до 26 %

выше, водопоглощение – до 27 % ниже, чем у
смеси [6].

Результаты физико-химических исследо-
ваний представлены на рис. 2 и 3.

Таблица

Физико-механические свойства рулонного композиционного материала

№ п/п	Показатели	Составы РКМ ¹			
		1	2	3	[7]
1	Предел прочности при сжатии, МПа	37,4	41,4	38,8	41,3
2	Предел прочности при изгибе, МПа	15,7	17,4	14,2	12,9
3	Сцепление с поверхностью бетона ² , МПа	3,3	3,9	3,5	3,1
4	Коэффициент истираемости	0,42	0,41	0,41	0,41
5	Средняя плотность, кг/м ³	2165	2120	2150	2220
6	Водопоглощение по массе, %	1,4	0,95	1,1	1,3
7	Водонепроницаемость, атм	12	12	12	12
8	Морозостойкость, цикл	250	250	250	250

¹ Составы 1–3 отличаются содержанием ХАД

² Адгезия РКМ к бетону выше когезионной прочности бетона – разрушение по бетону на глубине 5 мм от контактной зоны

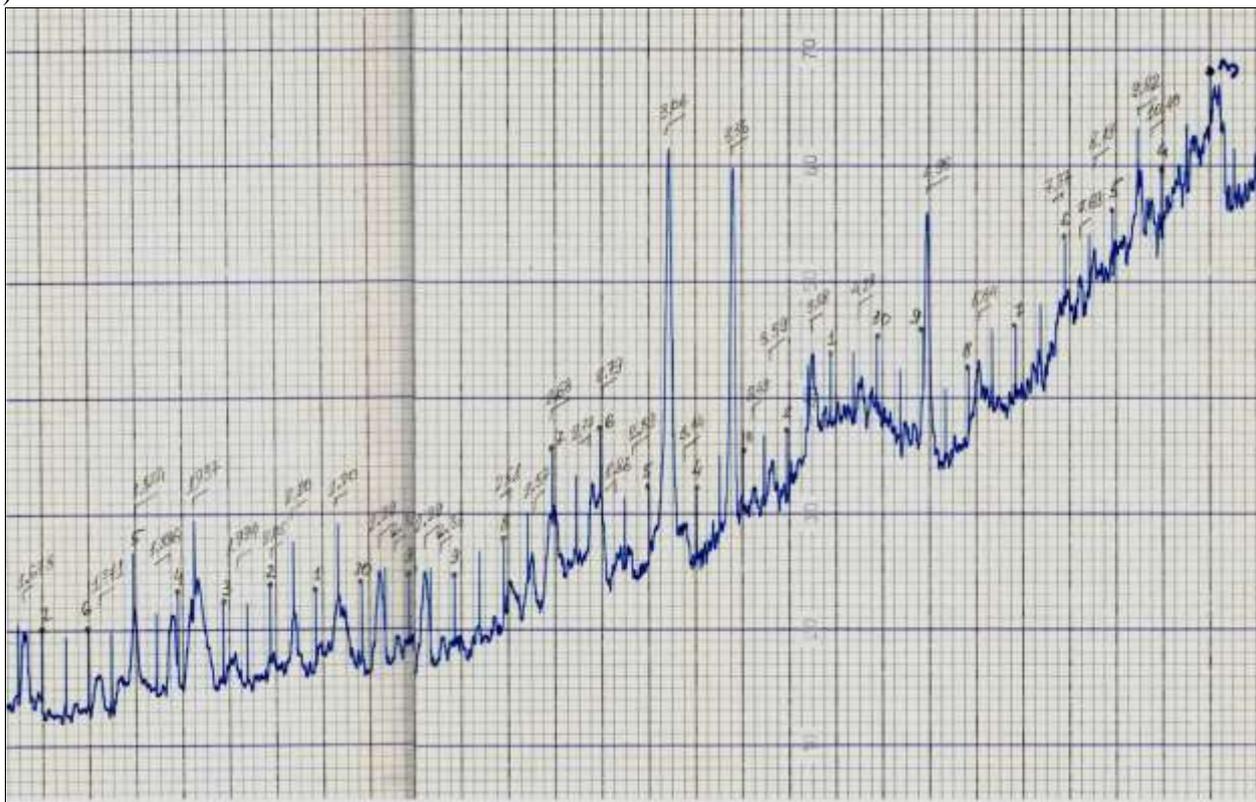
Анализ рентгенограмм (рис. 2) показал, что портландцементный камень с ХАД (рис. 2, б) по фазовому составу близок к бездобавочному портландцементному камню (рис. 2, а), однако отличается меньшим содержанием портландита (дифракционные максимумы, Å: 1,77ср; 2,62ос; 4,98ср), а также большим содержанием кальцита (1,89ос; 2,10с; 2,29ср; 3,06ос) и, возможно, низкоосновных гидросиликатов кальция типа CSH(I) (3,07ос; 2,8сл становятся интенсивнее, но однозначно не идентифицируются в связи с совпадением с максимумами кальцита и этtringита соответственно).

Анализ термограмм (рис. 3) подтвердил, что портландцементный камень с ХАД (рис. 3, б) по фазовому составу близок к бездобавочному портландцементному камню (рис. 3, а). На кривых ДТА преобладают эндоэффекты, характерные для гидросиликатного геля и высокоосновных гидросиликатов кальция C₂SH(II) – при 140–150 °С, портландита – при 470–500 °С, гидросиликатов кальция от высокоосновных до сильнозакристаллизованных низкоосновных типа ксонотлита, а также, возможно, кальцита –

при 810–830 °С. Отличие отмечается в виде более волнистого характера кривых ДТА цементного камня с ХАД (рис. 3, б), свидетельствующего о большем разнообразии продуктов его гидратации, и наличии на них небольших эндоэффектов при 280 и 840 °С, которые могут свидетельствовать о наличии сильнозакристаллизованных низкоосновных гидросиликатов кальция типа ксонотлита, тоберморита, а также гидросульфоалюминатов, гидрохлоралюминатов, гидрокарбоалюминатов кальция.

Расчет потери массы по термогравиметрическим кривым (TG, рис. 3) показал, что при нагревании до 1000 °С потеря массы цементного камня с ХАД 29,3 % (рис. 3, б) больше, чем цементного камня без добавок 28 % (рис. 3, а), что может свидетельствовать о большем количестве кристаллических фаз – портландита, гидросульфоалюминатов, гидрохлоралюминатов, гидрокарбоалюминатов кальция, содержащих большое количество химически связанной воды, а также кальцита, теряющего массу при температуре до 1000 °С за счет декарбонизации.

а)



б)

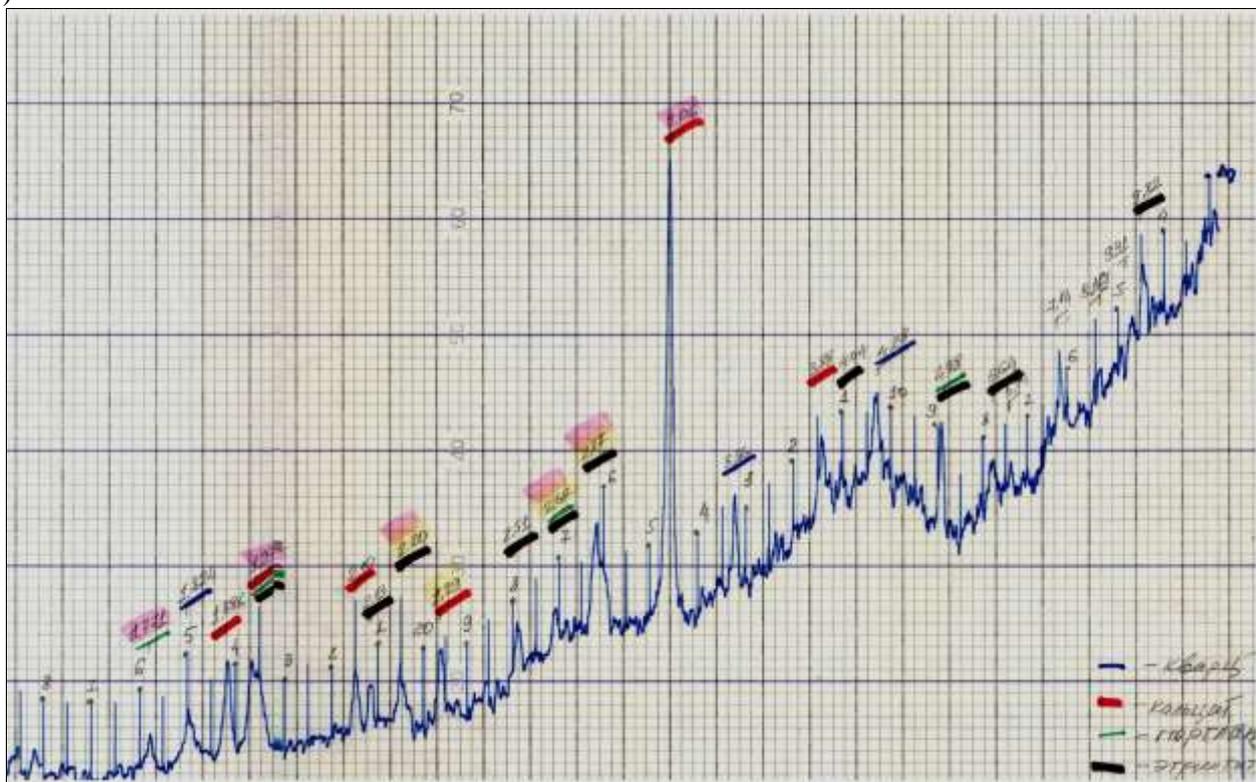


Рис. 2. Рентгенограммы портландцементного камня: а – без добавок; б – с ХАД

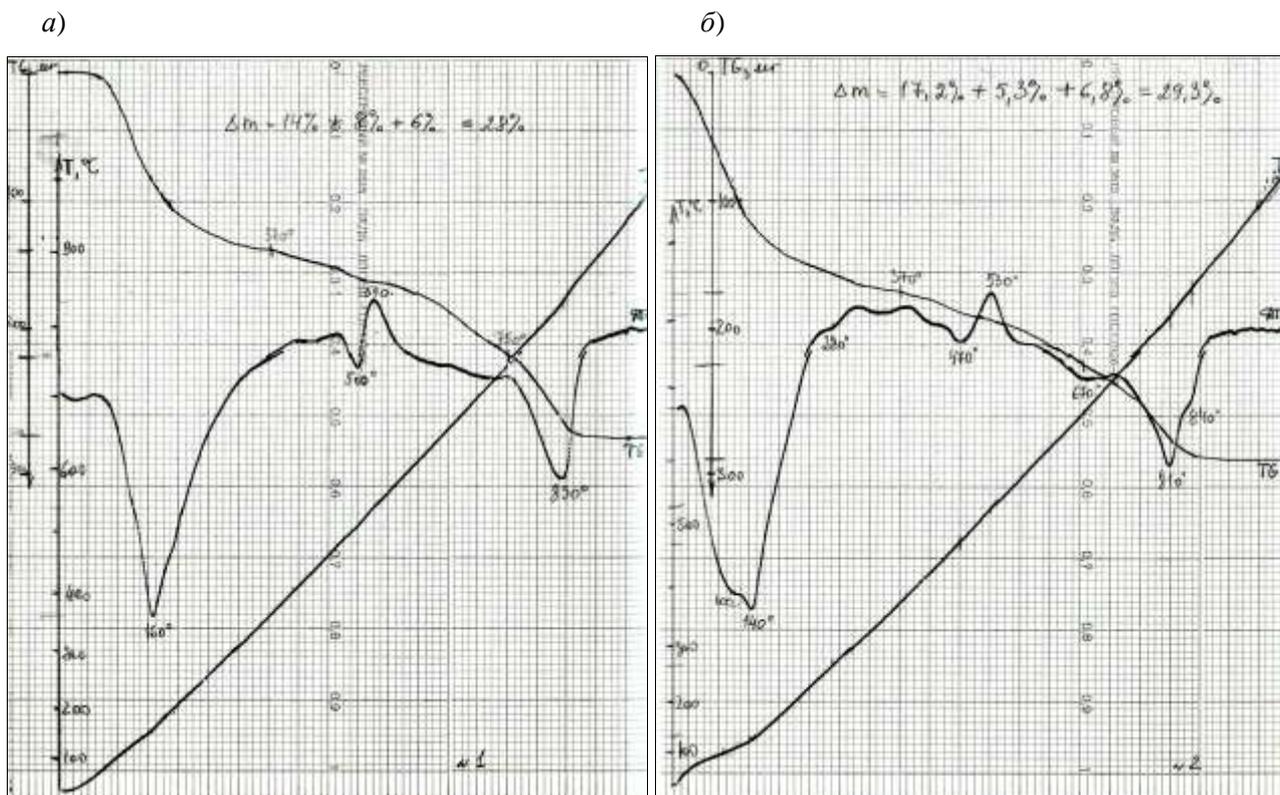


Рис. 3. Термограмми портландцементного камня: а – без добавок; б – с ХАД

Таким образом, физико-химические исследования показали, что ХАД обуславливает образование дополнительного количества как низкоосновных гидросиликатов кальция типа SCH(I), ксонотлита, тоберморита, так и кристаллогидратов гидросульфалюминатов, гидрохлоралюминатов, гидрокарбоалюминатов кальция. Это не нарушает баланс между количеством частиц с отрицательным и положительным поверхностным зарядом, но способствует образованию более плотной структуры продуктов гидратации со смещением размера пор за счет тонкодисперсных гидросиликатов кальция в меньшую сторону (к водонепроницаемым порам).

О более плотной структуре продуктов гидратации портландцемента с ХАД свидетельствует сравнение электронно-микроскопических снимков, представленных на рис. 4. При одинаковом увеличении на снимке рис. 4, б вокруг отверстия от «вырванного» волокна отмечается более однородная и плотная структура продуктов

гидратации, тогда как на рис. 4, а – более зернистая с отчетливо различимыми межчастичными пустотами – порами.

Выводы и рекомендации.

1. Получен простой в использовании самоклеящийся рулонный композиционный материал РКМ из нетканого материала объемной структуры НМОС, портландцемента и химически активных добавок ХАД, характеризующийся повышенным сцеплением с поверхностью, прочностью при изгибе и растяжении, водонепроницаемостью.

2. Установлено, что НМОС обеспечивает повышение прочности цементного камня при изгибе на 35 % до 17,4 МПа, сцепления с поверхностью бетона – на 26 % до 3,9 МПа, снижение водопоглощения – на 27 % до 0,95 % по массе.

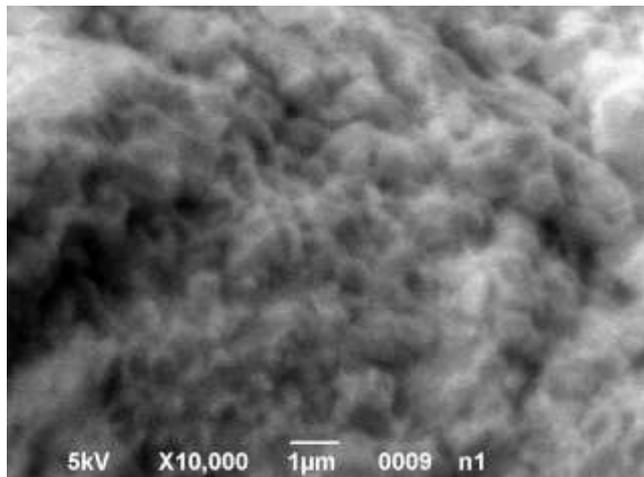
3. Установлено, что наблюдаемое улучшение физико-механических и гидрофизических свойств в результате введения ХАД обусловлено образованием дополнительного количества как

низкоосновных гидросиликатов кальция, так и кристаллогидратов гидросульфоалюминатов, гидрохлоралюминатов, гидрокарбоалюминатов кальция, а также кальцита.

4. Полученный РКМ рекомендуется использовать для ремонта и гидроизоляции

бетонных, железобетонных и каменных конструкций и сооружений, силовой герметичной заделки швов и стыков, например, между бетонными или асбестоцементными трубами и т.п.

а)



б)

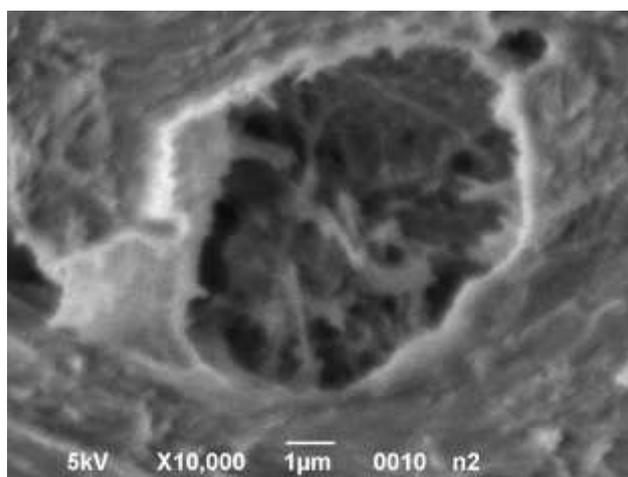


Рис. 4. Электронно-микроскопические снимки сколов портландцементного камня: а – без добавок; б – с ХАД и НМОС (округлая область размером 5–7 мкм – отверстие, из которого при раскалывании «вырвано» волокно)

Список использованных источников

1. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / В.М. Москвин, Ф.М.Иванов, С.Н.Алексеев, Г.А.Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 533 с.
2. Розенталь, Н.К. Коррозионная стойкость модифицированных бетонов [Текст] / Н.К. Розенталь // Технологии бетонов. – 2009. – № 1; № 2.
3. Розенталь, Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости [Текст] / Н.К. Розенталь. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 520 с.
4. Майстренко, А.Н. Использование украинскими фирмами современных материалов и технологий для ремонта и строительства [Текст] / А.Н. Майстренко, В.И. Пелипенко, Г.А. Забава, М.Д. Вайсман // Будівництво України. – 2002. – № 1. – С.42–43.
5. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали [Текст]: підручник / П.В. Захарченко, Е.М. Долгий, Ю.О. Галаган [та ін.]. – К.: КНУБА, 2005. – 512 с.
6. Суха будівельна суміш для ремонтних робіт [Текст]: пат. на корисну модель 57543 UA / Т.О. Костюк, О.Г. Вандоловський, М.Г. Салія, Д.О. Бондаренко; заявник і патентовласник Харк. нац. ун-т буд-ва і архітектури; опубл. 10.03.2011.
7. Ягудеев, Р.Ш. Разработка оптимальных условий эксплуатации нефтяных и газовых месторождений путем качественного цементирования скважин [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / Р.Ш. Ягудеев. – Алматы: КНТУ им. К.И. Сатпаева, 2010. – 31 с.
8. Пиндюк, Т.Ф. Методы исследования строительных материалов [Текст] / Т.Ф. Пиндюк, И.Л. Чулкова. – Омск: СибАДИ, 2011. – 59 с.
9. Горшков, В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ [Текст] / В.Г. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высш. шк., 1981. – 335 с.

10. Композиційний матеріал для ремонтних та інших будівельних робіт [Текст]: пат.103280 UA / Т.О. Костюк, В.А. Арутюнов, А.А. Пługін, О.В. Старкова, Д.О. Бондаренко; заявник і патентовласник Харк. нац. ун-т буд-ва і архітектури; заявл. 08.10.2012; опубл. 25.09.2013; бюл. № 18.

Пługін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту; тел. (057) 730 10 63; тел./факс (057) 771 46 91; E-mail: info@kart.edu.ua; plugin_aa@kart.edu.ua

Костюк Тетяна Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів і виробів Харківського національного університету будівництва і архітектури; тел. (057) 706 20 73; E-mail: office@kstuca.kharkov.ua; takostuk@ukr.net

Арутюнов Валерій Ашотович, аспірант кафедри будівельних матеріалів і виробів Харківського національного університету будівництва і архітектури; E-mail: office@kstuca.kharkov.ua

Партала Наталія Миколаївна, завідувач лабораторії кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту; тел. (057) 730 10 63; E-mail: info@kart.edu.ua; natabim@rambler.ru

Суханова Юлія Андріївна, провідний інженер ТОВ «Гідротехпроект»; тел./факс (095) 043 88 38; E-mail: jvine@mail.ru

Plugin Andrii A., doct. of techn. sciences, professor, head of building materials, constructions and buildings department of Ukrainian State Academy of Railway Transport; тел. (38 057) 730 10 63; тел./факс (38 057) 771 46 91; E-mail: info@kart.edu.ua; plugin_aa@kart.edu.ua

Kostuk Tatiana A., cand. of techn. science, Associate Professor, Department of building materials and ware, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture; тел. (38 057) 706 20 73; E-mail: office@kstuca.kharkov.ua; takostuk@ukr.net

Arutiunov Valerii A., postgraduate student, Department of building materials and ware, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture.

Partala Natalia M., head of learning laboratory building materials, constructions and buildings of Ukrainian State Academy of Railway Transport; тел. (38 057) 730 10 63; E-mail: info@kart.edu.ua; natabim@rambler.ru

Sukhanova Yulia A., leading engineer of design and research institute «Hydrotechproject»; тел. (095) 043 88 38; E-mail: jvine@mail.ru