Source: Sakanov D., Chistova T. Effective Massive Aggregates for Top Layer of Concrete Pavement. In: Contemporary Issues of Concrete and Reinforced Concrete: Collected Research Papers. Minsk. Institute BelNIIS. Vol. 8. 2016. pp. 213-224. https://doi.org/10.23746/2016-8-12

Саканов Дархан Куандыкович, канд. техн. наук, вице-президент, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», г. Алматы (Казахстан)

Чистова Татьяна Анатольевна, канд. техн. наук, доцент, Белорусский национальный технический университет, г. Минск (Беларусь)

Darkhan Sakanov, PhD in Engineering Science, Vice-President, JSC «Kazakh Research Institute», Almaty (Kazakhstan)

Tatyana Chistova, PhD in Engineering Science, Associate Professor, Belarusian National Technical University, Minsk (Belarus)

ЭФФЕКТИВНЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

EFFECTIVE MASSIVE AGGREGATES FOR TOP LAYER OF CONCRETE PAVEMENT

АННОТАЦИЯ

Структура бетона неоднородна и может иметь дефекты. Слабым его звеном является переходная зона на границе раздела цементного камня и заполнителя ITZ. В этой зоне пористость достигает 30 %, что является уязвимым местом для просачивания воды и жидких противогололедных реагентов, что в дальнейшем разрушает структуру бетона.

В последние годы разработаны технологии, позволяющие повысить прочность и долговечность бетона за счет направленного регулирования физико-химических процессов в зоне контакта заполнителей с цементным камнем.

В статье описан реагентный способ активации каменных материалов различными электролитами, значительно повышающими физико-механические и эксплуатационные свойства бетона.

В Республике Беларусь основными месторождениями, где добываются минеральные материалы для дорожного строительства, являются: карьер Микашевичи (РУПП «Гранит») и карьер

Глушкевичи (КПРСУП «Гомельоблдорстрой»). По содержанию оксида кремния в породах Микашевичского комплекса преобладают группы кислых пород (SiO_2 > 65 %), причем встречаются и ультракислые (SiO_2 > 75 %).

Авторами было предложено активировать минеральную поверхность сульфатом алюминия с целью его последующей миграции в структуру цементного камня в зоне ITZ. При этом образующийся гидросульфат алюминия кольматирует поры в проблемной зоне и укрепляет структуру бетона.

Была выявлена максимально эффективная технологическая схема по введению активирующей добавки в процессе дробления горных породы на РУПП «Гранит».

Приведены результаты экспериментальных исследований цементобетона на активированном щебне. Отмечен рост прочности бетона на активированном щебне, причем в более раннем возрасте набор прочности ускоряется в среднем в 2 раза по сравнению с бетоном на неактивированном щебне.

ABSTRACT

Concrete has an inhomogeneous structure and may possess a defect. Transitional zone of a cement stone and filler ITZ is its weakness. The porosity of this zone is 30 %. This is a vulnerable place for seepage water and sleet proof reagents that leads to the destruction of a concrete structure in future.

In recent years, a new technology has been developed to improve the strength of the concrete through purposeful regulation of physical and chemical processes in a contact zone of rubble and the cement stone.

The article describes the following examples: stone material is treated by solution of electrolyte. Rubble can improve physical and mechanical properties of the concrete.

The Republic of Belarus has a deposit of stone material in the open pit Mickashevichi (Republican unitary enterprise Granit). These resources contain acid rocks (SiO_2 > 65 %) and ultra acid rocks.

The authors offered to activate the mineral surface with the help of aluminum sulfate. Aluminum sulfate migrates to the structure of the cement stone in the ITZ zone.

Aluminum hydrosulfate muds pores in the problem area, thus, reinforcing the structure of the concrete.

The authors showed the flowchart of activation of the rubble when crunched.

The results obtained during the experiment showed the growth of durability of the concrete that contains the above mentioned activated rubble.

Ключевые слова: структура бетона, активация щебня, физико-химические процессы, зона ITZ, прочность бетона.

Keywords: structure concrete, rubble activated, physical and chemical processes, the ITZ zone, the durability of the concrete.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно современным представлениям о структуре дорожного бетона [1], слабым его звеном является переходная зона повышенной пористости ITZ (Interfacial transition zone) на границе раздела цементного камня и заполнителя.

Измеренная ширина ITZ оценивается в 20–60 мкм. В этой зоне пористость достигает 30% [2]. Если водоцементное отношение (В/Ц) в бетоне в среднем составляет 0,45, то в пределах ITZ оно может достигать 0,55. При этом поры оказываются излишне заполненными водой, которая при охлаждении может замерзать и разрушать структуру бетона. Кроме того, вследствие близкого расположения частиц заполнителя оболочки ITZ, создается «непрерывный путь» для просачивания агрессивных растворов противогололедных материалов, вызывающих коррозию цементного камня (рис. 1).

Общий объем ITZ оценивается в 20–40% объема цементного камня в зависимости от состава бетона [1]. Меньший предел характерен для плотного бетона, но он также оказывает существенное воздействие на его характеристики, в частности, на растяжение при изгибе. В этом случае разрыв структуры происходит в зоне ITZ.

В последние годы на основе более глубокого понимания структуры бетона разработаны технологии, позволяющие повысить

его прочность и долговечность за счет направленного регулирования физико-химических процессов в зоне контакта заполнителей с цементным камнем.

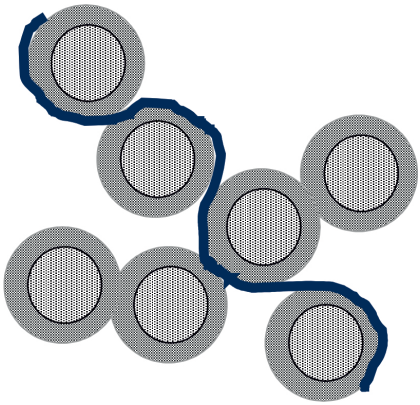

Рисунок 1. Схема образования «непрерывного пути» по оболочкам ITZ [1, с. 70, рис. 13]

РЕАГЕНТНЫЕ СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ КОНТАКТА «ЗАПОЛНИТЕЛЬ-ЦЕМЕНТНОЕ ВЯЖУЩЕЕ»

Известен способ активации кварцевого песка слабыми растворами электролитов с целью управления его электроповерхностными свойствами. Применяется обработка его поверхности растворами солей с многовалентными катионами, которые обеспечивают перезарядку поверхности и усиление связей цементного камня с заполнителем [3]. Например, при активации кварцевого песка раствором $ALCL_3 \cdot 6\,H_2O$ с концентрацией $5–10^{-1}$ моль/л существенно увеличивается прочность бетонов. Аналогичные решения предлагает школа профессора А. Г. Ольгинского [4, 5], использующая для активации заполнителей разбавленные растворы электролитов. Отмечено, что использование слабых электролитов особенно целесообразно для химической активации минеральных материалов с пылевато-глинистыми примесями.

Прочность при сжатии, при изгибе в этом случае значительно увеличивается [6].

Предложено использование катионактивной добавки – алкилдиметилбензиламмония хлорида в количестве 0,1 % для поверхностной обработки заполнителя в мелкозернистых прессованных бетонах, что значительно повышает их физико-механические и эксплуатационные свойства [7].

Учеными Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова разработаны принципы регулирования состояния поверхности дисперсного минерального сырья путем физико-химического модифицирования с целью изменения его гидрофильно-гидрофобных, донорно-акцепторных свойств, заключающиеся в максимальном повышении количества обменных адсорбционных центров и гидрофобизации поверхности. Показано, что целенаправленным изменением природы поверхности путем обработки химическими веществами и ультрафиолетовым воздействием можно эффективно управлять реакционной способностью и межфазными взаимодействиями в дисперсных системах, следовательно, процессами структурообразования и качеством композиционных материалов [8].

Авторами статьи [9] были рассмотрены вопросы повышения структурной прочности тяжелого бетона путем введения поливалентных металлов на границу контакта заполнителей с цементным камнем. Установлено, что прирост прочности бетона, используемого в мостовом и дорожном строительстве, достигает 8–13 %.

В настоящее время достаточно актуальным является исследование прочности структурных связей между компонентами бетона за счет физико-химической активации поверхности минеральных материалов, что дает полное основание рассматривать технологию активации каменных материалов как реальный резерв повышения качества композиционных строительных материалов.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ АКТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

В Республике Беларусь основными месторождениями, где добываются минеральные материалы для дорожного строительства,

являются: карьер Микашевичи (РУПП «Гранит») и карьер Глушкевичи (КПРСУП «Гомельоблдорстрой»). По содержанию оксида кремния в породах Микашевичского комплекса преобладают группы кислых пород (SiO_2 > 65 %), причем встречаются и ультракислые (SiO_2 > 75 %) (таблица 1) [10].

Таблица 1

Среднее содержание породообразующих оксидов в главных типах пород Микашевичского комплекса (масс. %)

Оксиды	Группы пород				
	1	2	3	4	5
SiO_2	54,10	59,30	66,0	72,52	75,69
TiO_2	1,17	0,80	0,54	0,32	0,19
AL_2O_3	16,50	17,00	15,30	13,53	12,64
Fe_2O_3	5,20	3,38	2,02	1,36	0,72
FeO	4,57	3,39	2,28	0,97	0,60
MnO	0,10	0,09	0,08	0,04	0,02
MgO	4,27	3,12	1,93	0,77	0,30
CaO	6,83	4,72	3,27	1,42	0,93
Na_2O	3,33	3,24	3,61	3,24	3,12
K_2O	1,50	2,24	3,13	4,84	5,25
P_2O_5	0,25	0,36	0,21	0,10	0,06

Примечание. Группы пород: 1 – диориты, 2 – кварцевые диориты, 3 – гранодиориты, 4 – биотитовые граниты, 5 – лейкократовые граниты.

Были исследованы электрокинетические характеристики гранитного щебня и показано, что обработка его поверхности водными растворами солей поливалентных металлов приводит к изменению ξ -потенциала минеральной поверхности и к перезарядке поверхности с отрицательного знака на положительный знак [11]. Это существенно меняет ее физико-химические параметры при взаимодействии с цементным камнем и обеспечивает прирост прочности бетона, причем в более раннем возрасте. Созданию

прочной кристаллогидратной тоберморитовой структуры цементного камня способствует образование соединений состава $2CaSiO_2 \cdot mMe \cdot nH_2O$, где Me – ион поливалентного металла.

Авторами предлагается активировать минеральную поверхность сульфатом алюминия с целью его последующей миграции в структуру цементного камня в зоне ITZ. При этом образующийся гидросульфат алюминия будет кольматировать поры в проблемной зоне и укреплять структуру бетона.

ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ

В результате анализа работы РУПП «Гранит» была выявлена максимально эффективная технологическая схема по введению активирующей добавки в процессе дробления горных пород. Расход раствора активатора по отношению к минеральному материалу (щебню) составляет 18–20 кг/т.

В производственных условиях для активации щебня использовалась передвижная установка для подачи активатора (рис. 2).

Рисунок 2. Передвижная установка подачи активатора

Активатор подавался из емкости насосом-дозатором и распылялся с помощью форсунок на свежеобразованную поверхность. В это время на ней имеются ионы Si^+ и O^-, которые способны

взаимодействовать с ионами поливалентных металлов и вступать в реакции замещения. При этом на свежеобразованной поверхности щебня закрепляются ионы Al^{3+} в виде Льисовских кислотных центров, которые существенно изменяют ее активность по отношению к цементу [11] и обеспечивают длительное сохранение эффекта активации в процессе перевозки, хранения и перевалки щебня.

При дроблении поверхность минеральных частиц нагревается, и избыток раствора соли высыхает с образованием высолов, которые при затворении водой при приготовлении бетона обеспечивают миграцию ионов SO_4^{2-} в зону ITZ.

С учетом имеющегося оборудования на РУП «Гранит» разработан технологический регламент на опытное производство активированного гранитного щебня (ТР-001–2012), и в стадии подготовки находится нормативный документ на новый вид инновационной продукции.

Обработку щебня оценивали по показателю pH водной вытяжки из активированного щебня (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что pH водной вытяжки активированного щебня составляет 3,5, необработанного щебня – 7,5.

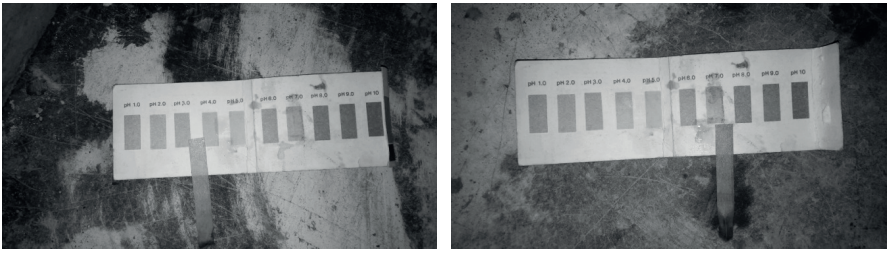

Рисунок 3. pH водной вытяжки активированного щебня

Активированный гранитный щебень фракции 5–20 использован в составе дорожного бетона. Состав на 1м^3 бетона:

Ц = 349,2 кг

П =785,3 кг

Щ =1315,7 кг

В = 216,5 л

Удобоукладываемость бетонной смеси оценивалась по осадке конуса и составила в среднем 5–6 см.

Исследовалось влияние активирующей добавки на прочность бетона на растяжение при нормально влажностном твердении. В соответствии ГОСТ 10180–90 были изготовлены образцы-балочки для испытания на прочность при изгибе. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства дорожного бетона

Показатели		Бетон на активированном щебне			Бетон на неактивированном щебне		
Прочность на растяжение B_{tb}, МПа,	28 сут	5,6	6,1	6,0	4,2	4,4	4,7
Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа	7 сут	20	19,6	20,4	9,8	10	10,2
	28 сут	32,6	32,4	32,8	22,2	21,8	22,0
Воздухововлечение,%		7			5		

Прочностные свойства бетона на активированном щебне в 1,3–2,0 раза выше по сравнению с традиционным бетоном.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработанная технология активации гранитного щебня в процессе дробления прошла апробацию и доказала свою практическую применимость.
2. Данная инновационная разработка защищена Евразийским патентом (Евразийский патент № 007651 Способ активации минеральных материалов / Бюллетень Евразийского патентного ведомства. 2006, № 6 – с. 173).
3. У бетона на активированном щебне в более раннем возрасте (первые 7 суток) наблюдается ускоренный набор прочности по сравнению с бетоном на неактивированном щебне. Образующие кристаллы гидросульфоалюмината кальция на ранней стадии гидратации

оказывают преимущественное влияние на формирование микроструктуры цементного камня в зоне ITZ. Заполняя поры цементного камня, гидросульфоалюминат повышает его механическую прочность и стойкость.

4. Технология обработки крупного заполнителя на РУП «Гранит» показала перспективность использования активации и для отсева дробления горных пород, поскольку отсев имеет более высокую площадь контакта с цементным камнем. Это позволяет укрепить зону ITZ в большем объеме бетона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Радовский, Б. С. Строительство дорог с цементобетонными покрытиями в США: новые тенденции / Б. С. Радовский // Дорожная техника.– 2010.– № 2.– С. 62–70.
2. Serinener K. L., Nemati K. M. The percolation of pare space in in cement paste / aggregate interfacial zone of concrete. Cement and Concrete Research. 1996.– Vol. 26.– P. 35–40.
3. Ольгинский, О. Г. Оценка и регулирование структуры зоны контакта цементного камня с минеральными заполнителями. Автореферат дис. … д-ра техн. наук: 05.23.05 / О. Г. Ольгинский.– Харьков, 1994.– 23 с.
4. Мельник, Ю. М. Активация структурообразования в контактной зоне тяжелого цементного бетона растворами солей с целью улучшения его свойств. Автореферат дис. … канд. техн. наук: 05.23.05 / Ю. М. Мельник.– Харьков, 1984.– 19 с.
5. Редкозубов, А. А. Мелкозернистые цементные бетоны на некондиционных кварцевых песках. Автореферат дис. … канд. техн, наук: 05.23.05 / А. А. Редкозубов.– Харьков, 1996.– 24 с.
6. Фоменко, Е. А. Активация каменных материалов при их укреплении вяжущими в композиционных слоях дорожной одежды / Е. А. Фоменко, О. Г. Ольгинский // Вестник ХНАДУ.– 2005.– № 30.– С. 11–13.
7. Саламанова, М. Ш. Прессованные цементобетонные изделия с использованием мелкозернистых бетонов на

модифицированном заполнителе. Дис. … канд. техн. наук / М. Ш. Саламанова.– Махачкала, 2011.– 188 с.
8. Ядыгина, В. В. Повышение качества асфальто- и цементобетона из техногенного сырья с учетом состояния его поверхности. Автореферат дис. докт. техн. наук. 05.23.05 / В. В. Ядыгина.– Белгород, 2004.– 24 с.
9. Бусел, А. В. Активация крупного заполнителя – резерв экономии цемента и повышения прочности тяжелого бетона / А. В. Бусел, В. В. Киселев, Т. А. Чистова // Технология бетонов.– 2010.– № 11–12.– С. 31–33.
10. Классификация и номенклатура магматических пород: справочное пособ. / Е. Д. Андреева, О. А. Богатиков, М. Б. Бородаевская, др. – М.: Недра, 1981.– 160 с.
11. Чистова, Т. А. Получение химически активированных каменных материалов из кислых горных пород и их применение в дорожном строительстве: дис. … канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 25.01.2008: утв. 06.03.2008 / Чистова Татьяна Анатольевна.– Мн., 2007.– 245 с.

REFERENCES

1. Radovskiy B. S. *Dorozhnaya Tekhnika*. 2010. No. 2. pp. 62–70. (rus)
2. Serinener K. L., Nemati K. M. The percolation of pare space in in cement paste / aggregate interfacial zone of concrete. *Cement and Concrete Research*. 1996. No. 26. pp. 35–40. (en)
3. Ol'ginskiy O. G. *Otsenka i regulirovaniye struktury zony kontakta tsementnogo kamnya s mineral'nymi zapolnitelyami* [Assessment and management structure of cement stone contact area with mineral aggregates]. Autoabstract of the dissertation for the degree in the technical science. 05.23.05. Khar'kov, 1994. 23 p. (rus)
4. Mel'nik Ju M. *Aktivatsiya strukturoobrazovaniya v kontaktnoy zone tyazhyelogo cementnogo betona rastvorami soley s cel'yu uluchsheniya ego svoystv* [Activation of structure in the contact zone of heavy cement concrete and salt solutions in order to improve its properties]. Autoabstract of the dissertation for the degree in the technical science. 05.23.05. Khar'kov, 1984. 19 p. (rus)

5. Redkozubov A. A. *Melkozernistyye tsementnyye betony na nekonditsionnykh kvartsevykh peskakh* [Fine-grained cement concrete on sub-standard quartz sands]: Autoabstract of the dissertation for the degree in the technical science. 05.23.05. Khar'kov, 1996 19 p. (rus)
6. Fomenko E.A, Ol'ginskiy O. G. *Bulletin of HNADU.* 2005. No. 30. pp. 11–13. (rus)
7. Salamanova M. Sh. *Pressovannye tsementobetonnyye izdeliya s izpol'zovaniyem melkozernistykh betonov na modifitsirovannom zapolnitele* [Pressed cement concrete products using the fine-grained concrete on the modified filler]. Autoabstract of the dissertation for the degree in the technical science. 05.23.05. Makhachkala, 2011. 188 p. (rus)
8. Yadygina V. V. *Povysheniya kachestva asfal'to- i tsementobetona iz tekhnogennogo syr'ya s uchetom sostoyaniya ego poverkhnosti* [Improving the quality of asfalta- and cement concrete from technogenic raw materials taking into account the state of its surface]. Autoabstract of the dissertation for the doctor in the technical science. Belgorod, 2004. 24 p. (rus)
9. Busel A. V., Kiselev V. V., Chistova T.A *Tehnologies of concrete*. 2010. No. 11–12. pp. 31–33. (rus).
10. *Klassifikaciya i nomenklatura magmaticheskikh porod* [Classification and nomenclature of rock] Moscow: Nedra, 1981. 160 p. (rus)
11. Chistova T.*A. Poluchenie himicheski aktivirovannykh kamennykh materialov iz kislykh gornykh porod i ih primeneniye v dorozhnom stroitel'stve* [Preparation of Chemically Activated stone material from acid rock and their use in road construction. Dissertation for the degree in the technical science. 05.23.05. Minsk, 2007. 245 p. (rus)

Статья поступила в редколлегию 21.11.2016.