

УДК 691.54: 691.535

Файзрахманов И.И. – аспирант

E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com

Халиуллин М.И. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Леклу А.-Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: Ali-Nordine.Leklou@univ-nantes.fr

Амири О. – доктор технических наук, профессор

E-mail: Ouali.Amiri@univ-nantes.fr

Политехнический университет Нанта

Адрес организации: BP 50609, Франция, г. Нант, ул. Кристиан Фаук, д. 1

Использование тонкодисперсных отсевов бетонного лома в цементных композициях для получения строительных растворов

Аннотация

Исследовано влияния введения тонкодисперсного отсева бетонного лома взамен части портландцемента в составе вяжущего для получения строительных растворов на основные физико-механические свойства растворов. Установлена возможность получения строительных растворов без существенного снижения прочностных показателей и не уступающих соответствующим показателям свойств промышленных аналогов с заменой до 15 % портландцемента в составе вяжущего на тонкодисперсный отсев бетонного лома. Сохранение прочности искусственного камня при введении добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в состав вяжущего при замене части портландцемента обусловлена проявлением эффекта стерического стеснения и процесса твердения ранее негидратировавших частиц портландцементного клинкера в составе добавки.

Ключевые слова: отсев бетонного лома, раствор, портландцемент, сухие строительные смеси, искусственный камень, калориметрия.

Введение

Стремительное развитие мирового промышленного потенциала приводит как к значительному увеличению потребления природных ресурсов, так и существенному росту объемов промышленных отходов. На долю строительной отрасли приходится до 30 % от всего объема добываемых природных ресурсов планеты, кроме того, она является крупнейшим источником промышленных отходов.

В результате сноса аварийных и устаревших с точки зрения современных градостроительных норм, организации производственных процессов, представлений о комфортности жилых и общественных помещений промышленных, общественных и жилых зданий, а также их разрушения строительных объектов при стихийных бедствиях и вооруженных конфликтах образуются большие объемы бетонного лома.

Только в Российской Федерации ежегодный объем образующихся отходов бетона и железобетона составляет более 6 миллионов тонн, с перспективой роста до 15-17 миллионов тонн в год.

Вовлечение бетонного лома в строительное производство является одним из перспективных направлений утилизации данного отхода при сокращении потребления природных минеральных ресурсов.

Отечественными и зарубежными учеными проведено значительное количество работ по исследованию эффективности использования добавок молотого боя различных видов бетонов для получения строительных материалов на основе портландцемента, шлакощелочных и гипсовых вяжущих [1-7]. Вместе с тем, с учетом многообразия составов и структуры утилизируемых бетонов вопросы применения тонкодисперсных отсевов бетонного лома в вяжущих композициях для получения строительных материалов остаются недостаточно изученными.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния введения тонкодисперсного отсева бетонного лома взамен части портландцемента в составе вяжущего для получения строительных материалов, в частности строительных растворов, на основные физико-механические свойства растворов.

Методы и материалы

В качестве базового вяжущего в работе использовался портландцемент СЕМ I 52,5 N в соответствии с EN 197-1 (ЦЕМ I 52,5Н в соответствии с ГОСТ 31108), производства компании «Ciments Calcia S.A.» (Франция). Химический состав портландцемента представлен в табл. 1.

Таблица 1

Минеральный состав портландцемента (в % по массе)

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₂	P ₂ O ₅	SrO	ппп
64,35	20,2	4,85	2,8	-	-	0,9	3,05	0,98	0,16	0,9	-	-	-

В состав вяжущего вводился тонкодисперсный отсев бетонного лома, отобранного со строительных объектов г. Парижа (Франция). Пробы бетонного лома дробились на лабораторной щековой дробилке до фракции менее 20 мм. Дробленный бетонный лом просеивали через сито с размером ячеек 80 мкм. В работе использовался продукт, прошедший через сито, объем которого составил около 10 % от первоначальной массы бетонного лома. Отсев бетонного лома высушивали в течение 24 часов при температуре 105 °С. Химический состав отсева бетона представлен в табл. 2.

Таблица 2

Минеральный состав отсева бетона (в % по массе)

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₂	P ₂ O ₅	SrO	ппп
64,35	20,2	4,85	2,8	-	-	0,9	3,05	0,98	0,16	0,9	-	-	-

Для приготовления образцов цементно-песчаного раствора использовался стандартный кварцевый песок в соответствии с EN196-1. Зерновой состав песка представлен в табл. 3.

Таблица 3

Зерновой состав песка

Размер ячейки сетки, мм	>2	1,6	1,0	0,5	0,16	0,08	<0,08
Полный остаток на сите, в % по массе	0	7	33	67	87	99	100

В работе использовалась гиперпластификатор на поликарбоксилатной основе CIMFLUID DUO 3032 производства компании Sika AG (Швейцария) в соответствии с NF EN 934-2.

В работе в качестве аналога для оценки достигнутых показателей физико-механических свойств рассматриваемых растворов применялась цементная напольная самовыравнивающаяся сухая строительная смесь для наружных работ «RAGREAGE EXTERIEUR», изготовленная компанией «PAREXLANKO S.A.» (Франция) в соответствии с EN 13813.

Изготовление и испытания образцов осуществлялось в соответствии с EN 196-1, EN 1015-2, EN 1015-3, EN 1015-10, EN 1015-11.

Пористость образцов раствора определялась в соответствии с рекомендациями Французской Ассоциации строительства (AFPC) и Французской Ассоциации исследований и испытаний строительных материалов (AFREM) [8].

Исследования кинетики тепловыделения затворенной водой пробы тонкодисперсного отсева бетонного лома выполнялось по ГОСТ 310.5 с использованием 8-канального изотермического калориметра TAM AIR производства фирмы «TA Instruments» при постоянной температуре внутри измерительного канала, равной 20 °С [9].

Результаты и обсуждение результатов

На первом этапе исследования выполнен подбор гранулометрического состава и содержания вяжущего и песка для исследуемых растворов смесей, исходя из условия соответствия данных показателей принятой в качестве аналога цементной напольной

самовыравнивающейся сухой строительной смеси для наружных работ «RAGREAGE EXTERIEUR».

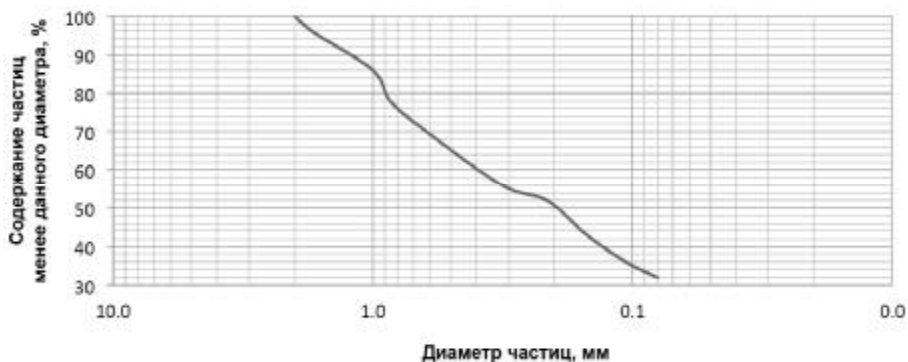


Рис. 1. Интегральная кривая распределения частиц сухой строительной смеси «RAGREAGE EXTERIEUR»

На рис. 1 представлены результаты исследований гранулометрического состава пробы сухой смеси «RAGREAGE EXTERIEUR», выполненные методом ситового анализа. Согласно представленным результатам исследований суммарное содержание частиц размером не менее 0,08 мм в составе сухой смеси, отнесенных к песку, составляет 68 % по массе. Остальные частицы размером менее 0,8 мм, суммарное содержание которых в составе сухой смеси составляет 32 % по массе, могут быть отнесены к вяжущему. Полученные результаты соответствуют данным, приведенным в работе [10].

На рис. 2 представлены результаты исследований гранулометрического состава песка в составе пробы сухой смеси «RAGREAGE EXTERIEUR», принятых для формирования гранулометрического состава песка в составе исследуемых растворяемых смесей, которое осуществлялось смешением взятых в соответствующих количествах фракций стандартного кварцевого песка в соответствии с EN196-1.

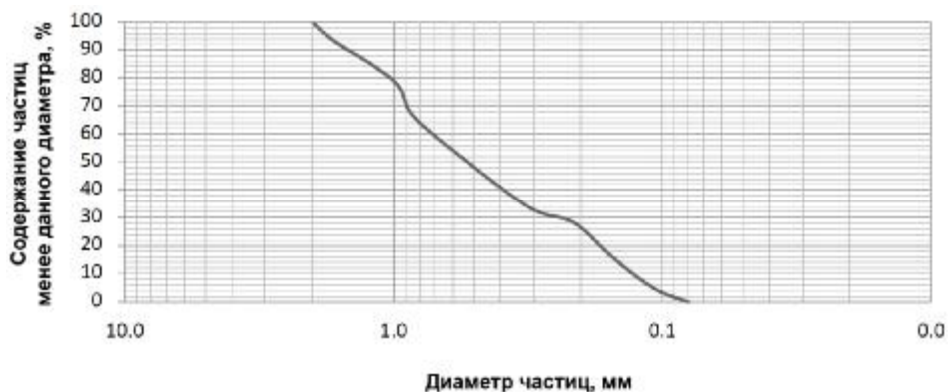


Рис. 2. Интегральная кривая распределения зерен песка в составе сухой строительной смеси «RAGREAGE EXTERIEUR»

Для изучения влияния добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в составе вяжущего при замене части портландцемента на свойства растворов, изготавливались составы, представленные в табл. 4. Количество пластифицирующей добавки подбиралось из расчета получения растворной смеси стандартной консистенции в соответствии с EN 1015-3 при постоянном водовязущем отношении 0,42. В составах 2 и 3 содержание тонкодисперсного отсева бетонного лома в суммарном количестве вяжущего, включающего портландцемент и отсев бетонного лома, составило, соответственно, 5 и 15 % по массе. Состав 4 изготавливался на основе сухой смеси «RAGREAGE EXTERIEUR».

Таблица 4

Составы растворов (в % по массе)

№ составов	1	2	3	4
Портландцемент	32	30,4	27,8	32
Отсев бетонного лома	-	1,6	4,8	-
Песок	68	68	68	68
Пластификатор CIMFLUID DUO 3032*	-	0,1	1,7	-

*Примечание: количество пластификатора представлено в % от общей массы вяжущего

На рис. 3-6 представлены результаты исследований плотности, пористости, прочности при сжатии и при изгибе растворов при различном содержании добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в составе вяжущего.

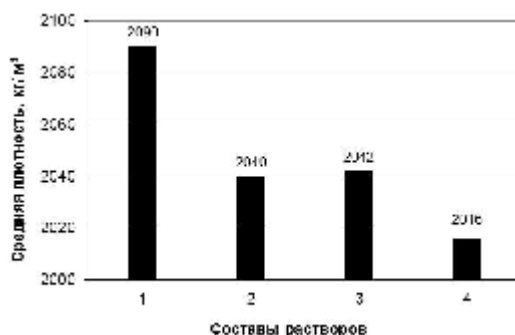


Рис. 3. Изменение плотности растворов в зависимости от содержания добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в составе вяжущего

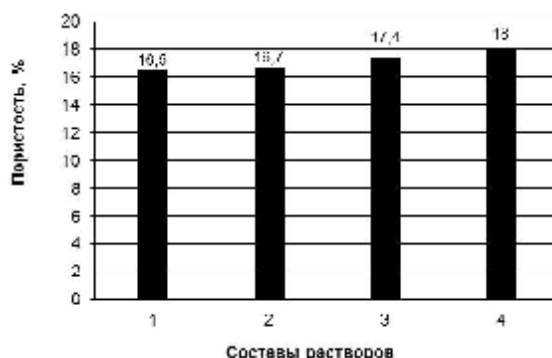


Рис. 4. Изменение пористости растворов в зависимости от содержания добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в составе вяжущего

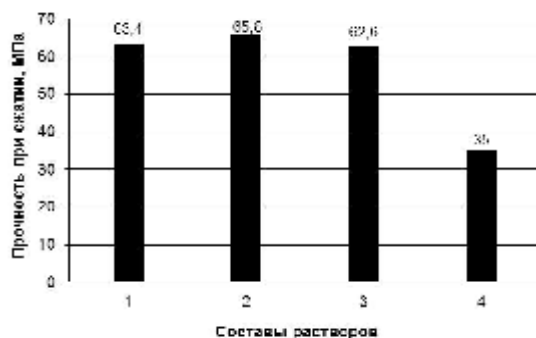


Рис. 5. Изменение прочности при сжатии растворов в зависимости от содержания добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в составе вяжущего

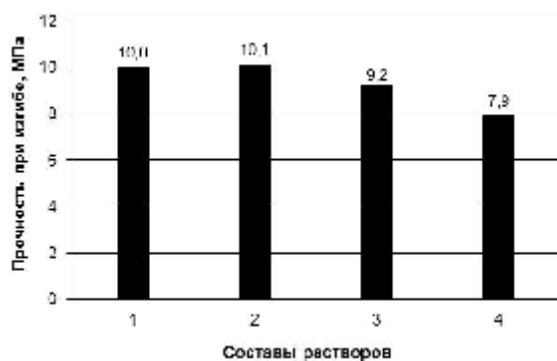


Рис. 6. Изменение прочности при изгибе растворов в зависимости от содержания добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в составе вяжущего

Результаты исследований изменения плотности растворов (рис. 1) демонстрируют снижение при увеличении добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в составе вяжущего (с 2090 кг/м^3 у контрольного бездобавочного образца до $2040\text{-}2042 \text{ кг/м}^3$ у образцов с содержанием до 5-15 % добавки, соответственно). Данное явление, по-видимому, связано с меньшей плотностью частиц добавки, по сравнению с плотностью затвердевшего цементного камня.

Результаты исследований изменения прочностных показателей растворов в зависимости от изменения содержания добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в составе вяжущего, представленные на рисунках 3-4, показывают следующее. Замена до 5 % портландцемента на добавку приводит к некоторому повышению прочности при сжатии и изгибе растворов по сравнению с контрольным бездобавочным образцом, что может объясняться эффектом стерического стеснения при введении наполнителя, когда определенный объем наполнителя, заполняя межзерновые пустоты, участвует в образовании каркаса в сочетании с частицами вяжущего [11, 12]. Кроме того, определенный вклад в повышение прочности может быть связан с процессом твердения ранее негидратировавших частиц портландцементного клинкера в составе отсева бетонного лома. О возможности гидратации таких частиц может свидетельствовать процесс тепловыделения наблюдающийся при исследовании методом калориметрии затворенной водой пробы тонкодисперсного отсева бетонного лома с достижением максимальных значений тепловыделения через 50 часов после смешения пробы с водой (рис. 7).

При замене до 15 % портландцемента прочность растворов понижается до показателей на уровне прочности контрольного образца.

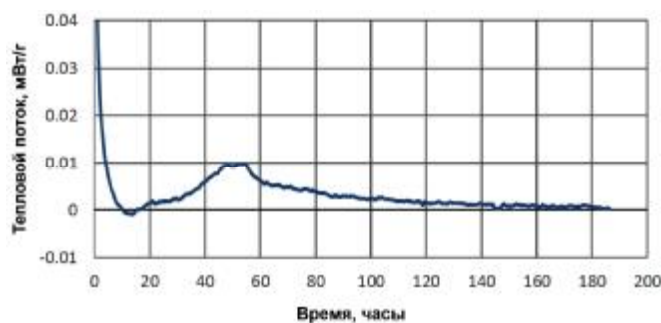


Рис. 7. Кинетика тепловыделения затворенной водой пробы тонкодисперсного отсева бетонного лома

Заключение

Таким образом, в результате выполненных исследований установлена возможность получения строительных растворов с заменой до 15 % портландцемента в составе вяжущего на тонкодисперсный отсев бетонного лома без существенного снижения прочностных показателей раствора и не уступающие показателям свойств промышленных аналогов.

Сохранение прочности искусственного камня при введении добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в состав вяжущего, при замене части портландцемента, обусловлена проявлением эффекта стерического стеснения и процесса твердения ранее негидратировавших частиц портландцементного клинкера в составе добавки.

Список библиографических ссылок

1. Головин Н.Г., Алимов Л.А., Воронин В.В. Использование отсевов дробления бетонного лома // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2005, № 9. – С. 26-27.
2. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.Н. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
3. Недавний О.И., Петров Г.Г., Герасимов А.В. Использование молотого некондиционного и демонтируемого керамзитобетона в качестве вяжущего // Известия вузов. Строительство, 1999, № 12. – С. 43-44.
4. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Фатыхов Г.А. К комплексному использованию шлаков и бетонного лома в производстве шлакощелочных вяжущих // Известия КГАСУ, 2011, № 2 (16). – С. 218-223.
5. Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю. Композиционное гипсовое вяжущее с минеральной добавкой бетонного лома // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий. – Материалы VII Международной научно-практической конференции по гипсу. – М.: Изд-во «Де Нова», 2014. – С. 239-243.
6. Mymrin M., Correa S.H. New construction material from concrete production and demolition wastes and lime production waste // Construction and Building materials, 2007, № 3. – P. 578-582.
7. Mobius A., Muller A. Untersuchungen zur Nutzung von zementgebundenem Recyclingmaterial als Primar und Sekundarbindemittel. – Ibausil: 14 International Baustofftagung. – Weimar, 2000. – P. 2/0351-2/0360.
8. Ganeshwaran P.A., Suji D. Behavioural Studies on Potential Aspects of Self Compacting Concrete with M-Sand and Fly ASH // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2013, № 3 (11). – P. 192-197.
9. Адамцевич А.О., Пашкевич С.А., Пустовгар А.П. Использование calorиметрии для прогнозирования роста прочности цементных систем ускоренного твердения // Инженерно-строительный журнал, № 3, 2013. – С. 36-42.
10. Patural L., Marchal P., Govin A., Grosseau P., Ruot B., Devès O. Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement – based mortars // Cement and Concrete Research, 2011, № 41 (1). – P. 46-55.
11. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М. Цементные бетоны с минеральными наполнителями. – Киев: Будивельник, 1996. – 136 с.
12. Braga M., de Brito J., Veiga R. Incorporation of fine concret aggregates in mortars // Construction and Building Materials, 2012, № 36. – P. 960-968.

Faizrakhmanov I.I. – post-graduate student

E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com

Khaliullin M.I. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Leklou A.-N. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Ali-Nordine.Leklou@univ-nantes.fr

Amiri O. – doctor of technical science, professor

E-mail: Ouali.Amiri@univ-nantes.fr

Polytech Nantes

The organization address: BP 50609, France, Nantes, Christian Pauc st., 1

The use of fine screenings of concrete waste in a cement composition for producing mortar

Resume

The involvement of concrete waste in construction is one of the promising areas of recycling this waste while reducing the consumption of natural mineral resources. The aim of this work was to study the effects of the introduction of fine screening concrete waste to replace a portion of Portland cement in the binder for construction materials, in particular mortar, on primary physical-mechanical properties of solutions. The result of the executed researches is to establish the possibility of obtaining a mortar with replacement of up to 15 % of Portland cement in the binder for fine screening of concrete waste without significant reduction in strength characteristics of the solution and not inferior to the performance properties of industrial analogues. Maintaining the strength of the artificial stone with the introduction of additives fine screening of concrete waste in the composition of the binder when replacing part of Portland cement is a manifestation of the effect of steric constraint and hardening process not previously hydrated particles of Portland cement clinker in the additive.

Keywords: screening of concrete waste, mortar, portland cement, dry mortar, artificial stone, calorimetry.

Reference list

1. Golovin N.G., Alimov L.A., Voronin V.V. Use of screenings of crushing concrete scrap // Building Materials, Equipment, Technologies of the XXI century, 2005, № 9. – P. 26-27.
2. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.N. Modified high-quality concrete. – M.: Publishers ASV, 2006. – 368 p.
3. Nedavniy O.I., Petrov G.G. Gerasimov A.V. The use of ground substandard and dismantled keramsit as a binder // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo, 1999, № 12. – C. 43-44.
4. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Fatykhov G.A. To the complex use of slags and concretewaste in production of slag-alkaline bindings // Izvestiya KGASU, 2011, № 2 (16). – P. 218-223.
5. Chernysheva N.V., Drebezgova M.Y. Composite gypsum binder with the mineral additive of concrete scrap // The collection of proceedings «Proceedings of the VII International scientific-practical conference «Improving efficiency of production and application of gypsum materials and products». – M: Publishers De Novo, 2014. – P. 239-243.
6. Mymrin M., Correa S.H. New construction material from concrete production and demolition wastes and lime production waste // Construction and Building materials, 2007, № 3. – P. 578-582.
7. Mobius A., Muller A. Untersuchungen zur Nutzung von zementgebundenem Recyclingmaterial als Primar und Sekundarbindemittel. – Ibausil: 14 International Baustofftagung. – Weimar, 2000. – P. 2/0351-2/0360.
8. Ganeshwaran P.A., Suji D. Behavioural Studies on Potential Aspects of Self Compacting Concrete with M-Sand and Fly ASH // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2013, № 3 (11). – P. 192-197.
9. Adamtsevich A.O., Pashkevich S.A., Pustovgar A.P. Application of calorimetry for prognosticating strength increase of fast-curing cement systems // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, 2013, № 3. – P. 36-42.
10. Patural L., Marchal P., Govin A., Grosseau P., Ruot B., Devès O. Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement – based mortars // Cement and Concrete Research, 2011, № 41 (1). – P. 46-55.
11. Dvorkin L.I., Solomatov V.I., Vyrovoy V.N., Chudnovsky S.M. Cement concrete with mineral fillers. – Kiev: Budivel'nik, 1996. – 136 p.
12. Braga M., de Brito J., Veiga R. Incorporation of fine concret aggregates in mortars // Construction and Building Materials, 2012, № 36. – P. 960-968.