

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article\_5940f017098708.32121774

Тольпина Н.М., канд. техн. наук, доц.,  
Рахимбаев Ш.М., д-р техн. наук, проф.,  
Хахалева Е.Н., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## СТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ГИДРАТАЦИОННОГО ТВЕРДЕНИЯ НА ЗАПОЛНИТЕЛЕ ИЗ БЕТОННОГО ЛОМА

hahaleva@intbel.ru

В последнее время в России образуется ежегодно около 6 млн. тонн отходов бетона и железобетона. В связи с программой реновации жилья специалисты прогнозируют прирост отходов из бетонного лома при разборке зданий и конструкций до 15–17 млн. т в год. Исследования по вторичному использованию бетона проводятся в нашей стране, Японии, США. Установлено влияние заполнителя из бетонного лома на эксплуатационные характеристики бетона. Особенности заполнителя из бетонного лома в основном обусловлены тем, что после дробления бетона на зернах заполнителя остаются слои растворенной составляющей или тонких пленок гидратных фаз, что обуславливает повышенную адгезию формирующейся цементной матрицы к заполнителю. В процессе повторного дробления большая часть цементной пленки на поверхности кислого заполнителя карбонизируется, благодаря чему в контактной зоне осаждаются как положительно, так и отрицательно заряженные частицы гидратных фаз, что благоприятно сказывается на снижении проводимости контактной зоны для агрессивных ионов и повышении его стойкости. В работе показана возможность использования вторичного бетона для бетонных изделий, контактирующих с сульфатными средами.

**Ключевые слова:** бетон, заполнитель, бетонный лом, химическая коррозия, стойкость, цементная матрица.

**Введение.** После дробления бетона на зернах заполнителя остаются слои в виде растворенной составляющей или тонких пленок гидратных фаз. Это обеспечивает повышенную адгезию цементной матрицы бетона к заполнителю, которая увеличивается в ряду: кварц < известняк < клинкер. Благодаря этому изделия на основе бетонного лома характеризуются повышенными деформативностью, трещиностойкостью, стойкостью к динамическим нагрузкам и т.д. [1]. К недостаткам следует отнести то, что бетоны на таком сырье отличаются повышенным расходом цемента и колебанием свойств, что обусловлено неоднородностью по составу и свойствам бетонного лома. Это требует проведения постоянного контроля зернового состава, средней плотности, пористости, пустотности, формы зерен, их прочности и др. Из-за наличия на поверхности дробленого бетона растворной части повышается водопотребность бетонной смеси, поэтому необходимо применять добавки-суперпластификаторы.

На производство щебня из бетона требуется в 8 раз меньше расхода топлива, чем при его добыче в природных условиях, при этом себестоимость бетона снижается на 25 %. Использование бетонного и железобетонного лома в производстве строительных материалов, изделий и конструкций требует тщательного отбора ис-

ходных бетонных и железобетонных конструкций [2–3]. Установлено влияние заполнителя из бетонного лома на процессы структурообразования в бетоне, на эксплуатационные свойства бетонов, такие как пористость, трещиностойкость, морозостойкость [4–10] и др.

Однако, влияние данного вида заполнителя на коррозионную стойкость бетонов мало изучено, особенно в условиях химической коррозии [11–13]. Ниже излагаются результаты исследований по данному вопросу.

**Методика.** Исследования по влиянию вторичного заполнителя на коррозионную стойкость бетона проводили на образцах размером 2,5×2,5×10 см состава Ц:П=1:3, которые после предварительного твердения помещали в 1 %-ный раствор сульфата магния, затем после 1, 3, 6 и 12 мес испытаний определяли прочность, параллельно определяли фазовый состав продуктов коррозии (РФА) и микроструктуру корродированной зоны (РЭМ). В качестве эталона использовали образцы состава 1:3 на природном кварцевом песке [14].

Для исследований использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ЗАО «Белгородский цемент»), кварцевый песок (ГОСТ 8736–93) ЗАО «ПП «Гидромехстрой» карьер «Майская Заря» ( $M_{кр} = 1,65$ ), мелкий заполнитель ( $M_{кр}=2,5$ ), полученный измельчением на лабораторной щеко-

вой дробилке образцов бетона марок М 300 и М 400, изготовленных на заполнителе из гранита Павловского карьера Воронежской области и кварцевого песка Нижнеольшанского месторождения, твердевших в течение года. Химический состав бетонного лома, %:  $\text{SiO}_2$  – 55,91;  $\text{CaO}$  – 15,36;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8,65;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,81;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,55;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,54;  $\text{MgO}$  – 0,86;  $\text{SO}_3$  – 0,78. По данным рентгенофазового анализа установлено наличие минералов, характерных для крупного и мелкого заполнителя: кварца (4,26; 3,34; 2,46; 1,82; 1,54 Å), полевых шпатов (микроклин, альбит) (3,24; 3,19 Å), биотита (10,069 Å); минералы цементного камня в основном представлены портландитом (4,92 Å).

**Основная часть.** После дробления бетона на зернах заполнителя остаются слои в виде растворной составляющей или тонких пленок гидратных фаз, что обеспечивает повышенную адгезию цементной матрицы бетона к заполнителю. При этом большая часть цементной пленки, прочно закрепившейся на поверхности кислого заполнителя из кварцевого песка, гранита и других кислых силикатов в процессе предыдущей эксплуатации и повторного дробления карбонизируется. Часть активных центров, имеющих отрицательный заряд, нейтрализуется, блокируется ионами  $\text{Ca}^{2+}$ , в результате электроповерхностный заряд зерен заполнителя бетонного ло-

ма оказывается смещенным в положительную область, поэтому в контактной зоне осаждаются как положительно, так и отрицательно заряженные частицы гидратных фаз. В результате этого контактная зона бетонного лома обладает меньшей проводимостью для агрессивных ионов, что положительно сказывается на стойкости бетона [15].

Результаты испытаний приведены на рисунках 1–3. Установлено, что коррозионная стойкость образцов бетона с заполнителем из бетонного лома в 1 %-ном растворе сульфата магния больше в 1,2 раза, чем на кварцевом песке (рис. 2). Прочность при сжатии образцов на бетонном ломе перед испытаниями была выше прочности образцов-эталонов на кварцевом песке на 32,4 %. После набора прочности при сжатии в течение первых 3-х месяцев, она снижается и к 6 мес превышала всего на 11 % прочность образцов-эталонов. После 3-х мес испытаний образцы на бетонном ломе продолжают набирать прочность при изгибе от 9,29 до 12,17 МПа, в то время как у образцов на кварцевом песке наблюдается снижение прочности с 10,24 до 9,24 МПа. Коэффициент стойкости образцов бетона на заполнителе из бетонного лома через 180 сут испытаний составил  $K_{C180}=1,42$  по сравнению с бетоном на кварцевом песке  $K_{C180}=0,95$ .

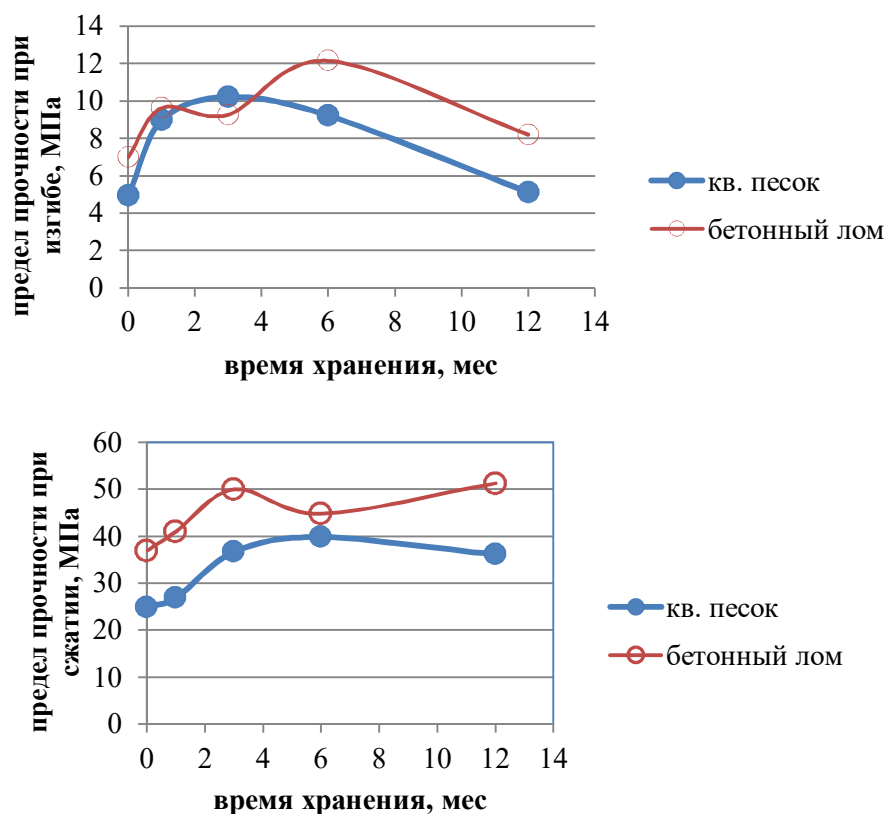


Рис. 1. Кинетика твердения образцов мелкозернистого бетона с различным заполнителем в 1 %-ном растворе сульфата магния

Через 12 мес. испытаний прочность при изгибе и сжатии образцов бетона на заполнителе из бетонного лома продолжала оставаться выше, чем у образцов на кварцевом песке. Разница по прочности при изгибе, как наиболее чувствительного показателя при коррозионных испытаниях увеличилась до 38 %, что говорит о преимуществе заполнителя из бетонного лома при воздействии сульфатно-магниевых сред. При этом коэффициент стойкости составил  $K_{C_{360}}=0,86$  по сравнению с бетоном на кварцевом песке  $K_{C_{360}}=0,78$ .

На микрофотографиях контактной зоны бетонного лома с корродированным цементным камнем (рисунок 2) видны беспорядочно расположенные глобулы гидроксида магния и удлиненные кристаллы гипса. Снимок показывает, что контакт поверхности заполнителя из бетонного лома с цементной матрицей бетона не нарушен процессами коррозии, его поверхность имеет форму четкой прямой линии и зазор между заполнителем и цементным камнем находится в наноразмерной области.

На рисунке 3 изображена поверхность контакта частицы кварцевого песка с новообразова-

ниями цементного камня. На контакте с частицей песка находится слой продуктов коррозии толщиной более 5 мкм, который явно состоит из 2-х компонентов: первый представлен слоем одинаковой толщины, второй – мелкозернистым тонким слоем, который находится на поверхности первого.

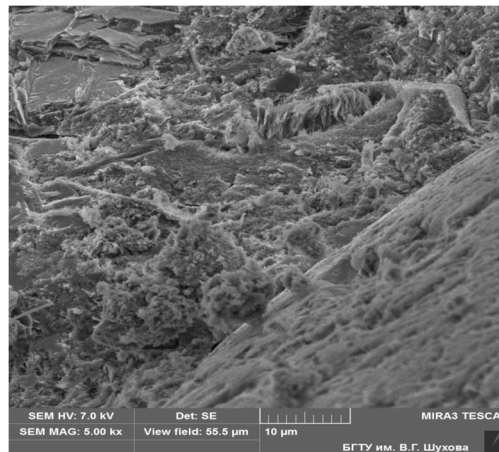


Рис. 2. Контактная зона между заполнителем из бетонного лома и цементной матрицей в образцах, корродированных в растворе сульфата магния

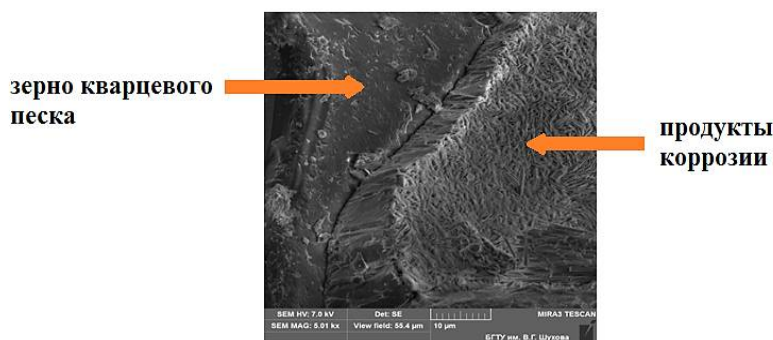


Рис. 3. Кристаллизация продуктов коррозии в зоне контакта кварцевого песка

Это может быть обусловлено последовательностью кристаллизации продуктов коррозии: гидроксида магния, гипса и этtringита.

**Выводы.** Резюмируя изложенное, необходимо отметить, что экспериментальные исследования подтверждают предварительные заключения авторов, сделанные из общетеоретических соображений, что бетонный лом обладает признаками активного заполнителя, что обусловлено химическим средством гидратных образований на поверхности заполнителей, поэтому на микрофотографиях видна поверхность раздела наноразмерного характера между зерном заполнителя и цементной матрицей. Заполнитель из бетонного лома повышает коррозионную стойкость бетона в высокоагрессивных магниевых-сульфатных средах по сравнению с традиционным заполнителем из кварцевого песка. Это позволяет рекомендовать заполнитель из бетонного лома для изделий и конструкций подзем-

ных сооружений, контактирующих с агрессивными грунтовыми водами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М., Батаев Д.К.-С. Энерго- и ресурсосберегающие материалы и технологии для ремонта и восстановления зданий и сооружений. М: Издательство «Комтех-Принт», 2006. 235 с.
2. Баженов Ю.М., Муртазаев С.-А.Ю. Эффективные бетоны и растворы для строительных и восстановительных работ с использованием бетонного лома и отвалных зол ТЭС // Вестник МГСУ. 2008. №3. С. 124–128.
3. Батаев Д.К.-С., Муртазаев С.-А.Ю., Исмаилова З.Х. Составы и свойства бетонов на основе отходов промышленности // Труды ГГНИ им. акад. М.Д. Миллионщикова: ГГНИ, Грозный. 2007. Вып.7. С. 108–115.

4. Курочка П.Н., Мирзалиев Р.Р. Бетоны с заполнителем из продуктов дробления вторичного бетона // Вестник РГУПС. 2012. №3. С.140–147.
5. Калыгин А.А., Фахратов М.А., Сохряков В.И. Опыт использования отходов дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий // Строительные материалы. 2010. №6. С.32–33.
6. Кикава О.Ш., Соломин И.А. Переработка строительных отходов. М.: Сигнал, 2000. 84 с.
7. Yoshio K. Studies into the reuse of demolished concrete in Japan // EDA/RILEM Conference «Reuse of concrete and brick materials», 1985. P. 342–348.
8. Boesmans B. Crushing and separating techniques for demolition material // EDA/RILEM Conference «Reuse of concrete and brick materials», 1985. P. 218–222.
9. Kenai S., Debieb F. Characterisation de la durabilité des betons recycles a base de gros et fins granulés de briques et de beton cjmccasses // Mater. And Struct. 2011. 44. № 4. P.815–824.
10. Lovato P.S., Possan E., Denise C., Masuero A. Modelling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes // Congr. And Build. Mater. 2012. 26. №1. P.437–447.
11. Карпачева Е.Н., Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Коррозия мелкозернистых бетонов в агрессивных средах сложного состава. 90 с.
12. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 250 с.
13. Хахалева Е.Н., Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонных конструкций промышленных предприятий: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 84 с.
14. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Методы оценки коррозионной стойкости цементных композитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 23–24.
15. Толыпина Н.М. К вопросу о взаимодействии цементной матрицы с заполнителями // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 6–1. С. 81–85.

---

**Tolypina N.M., Rakhimbayev S.M., Khakhaleva E.N.**

#### **THE MATERIALS ARE RESISTANT HYDRATION HARDENING THE FILLER CONCRETE SCRAP**

*Recently in Russia produces annually about 6 million tons of waste concrete and reinforced concrete. In connection with the program of renovation of housing experts predict the increase in waste from concrete waste when dismantling buildings and structures up to 15–17 million tonnes per year. Research on recycling of concrete is carried out in our country, Japan, USA. The influence of aggregate from concrete waste on the performance of concrete. Features of aggregate from concrete waste is mainly due to the fact that after crushing of concrete on the grain filler remain in the layers of mortar component, or of thin films of hydrated phases, which causes an increased adhesion of the formed cement matrix to the filler. In the process of re-crushing a large part of the cement film on the surface of the acidic filler carbonitride, so that in the contact zone are deposited both positively and negatively charged particles of hydrated phases, which is beneficial to the reduction of the conductivity of the contact zone for aggressive ions and increasing its durability. The paper shows the possibility of using recycled concrete for concrete in contact with sulfate environments.*

**Key words:** concrete, filler, concrete scrap, chemical corrosion resistance, the cement matrix.

---

**Толыпина Наталья Максимовна**, кандидат технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

**Рахимбаев Шарк Матрасулович**, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

**Хахалева Елена Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: hahaleva@intbel.ru

---