

Пробуждение гидравлической активности наполнителей и заполнителей из лома глиняного кирпича

И. И. Романенко, И.Н. Петровнина, К.А. Еличев, М.И. Романенко

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Аннотация: Активное применение в производстве строительных материалов отходов после реновации жилья является актуальным и перспективным направлением, т.к. снижается нагрузка на логистику по поставке инертных материалов, уничтожаются свалки и площадки хранения отходов, снижается себестоимость строительных материалов из вторичного сырья. Применение переработанного боя глиняного кирпича позволяет не только решить проблему утилизации твердых отходов, но и уменьшить экологический ущерб, наносимый окружающей среде человеком чрезмерным освоением природных ресурсов. Тонко измельченный кирпичный бой обладает пуццолановыми свойствами и может применяться, как добавка в цементную смесь, а крупная фракция применяется в заполнителях цементных композиций.

Ключевые слова: лом глиняного кирпича, реновация, подготовка, пуццолановая активность, гидравлическая активность, вяжущее, твердение, заполнитель, раствор, прочность.

Здания и сооружения из глиняного кирпича широко строились во всем мире, и в современных условиях данная технология применяется. Особенно это относится к периоду после окончания войны в 1945 году. Через 70 лет многие здания достигли проектного срока службы или разрушились из-за неправильного содержания и их обслуживания. В результате расширения городской застройки старые здания подверглись реновации, что привело к накоплению отходов глиняного кирпича на свалках и площадках хранения строительных отходов [1, 2].

Доля лома глиняного кирпича от общего объема снесенного жилья из кирпичных стен составляет около 50-56% [3, 4]. Ежегодный объем строительных отходов после реновации жилья в Европе составляет 1-1,2 миллиарда тонн [3, 5].

Основной способ обращения с отходами после сноса зданий - это захоронение на свалках или в местах рекультивации. Широкое использование свалок является дорогостоящим подходом и не

рациональным. Переработка строительного боя составляет 1261 руб./т, в то время как утилизация того же материала составляет 8160 руб./т [6].

Хранение и утилизация отходов становится серьезной экологической проблемой, особенно для большинства современных городов, где отсутствуют свободные места для захоронения. Благодаря переработке строительного лома, количество отходов, подлежащих вывозу на свалки, будет значительно сокращено [6, 7]. А переработка вторичного сырья в материалы для строительной индустрии является серьезной альтернативой захоронению.

Производство бетона и строительного раствора предусматривает потребление большого количества не возобновляемых природных ресурсов, что вызывает загрязнение окружающей среды. Во многих регионах страны качественных природных заполнителей, как крупных, так и мелких не хватает. Запасы природных материалов истощаются, и технология становится все более дорогостоящей. В 1860 году Германия впервые применила бой глиняного кирпича в производстве бетонных изделий [8]. Измельченный кирпич подвергался классификации и использовался в качестве крупного заполнителя бетонных смесей.

В то же время бетоны невозможно получить без вяжущего, а производство портландцемента является экологически грязным из-за выделения пыли и углекислого газа [9]. Производство 1 тонны портландцемента потребляет 1,7 тонны сырья, около 7000 МДж электроэнергии и топливной энергии [9, 10], и выбрасывает в атмосферу 0,75 т. углекислого газа, а также 12 килограммов диоксида серы и пыли [11].

В исследованиях нами были предложены два направления использования боя глиняного кирпича: тонкомолотый бой (ТМК) до удельной поверхности $S_{уд}=2500-3200 \text{ см}^2/\text{г}$ в качестве составляющей

портландцемента и фракция с модулем крупности $M_{кр}=1,65-1,80$, как мелкий наполнитель для цементно-песчаных кладочных и штукатурных растворов.

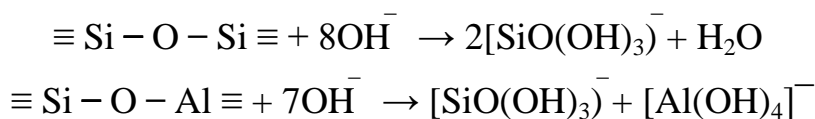
Сама необожжённая глина содержит высокую долю кварца и полевого шпата, которые являются кристаллическими минералами и не проявляют пуццолановую активность.

Ряд исследователей установили, что тонкомолотый глиняный кирпич обладает пуццолановой активностью [12, 13]. Обусловлено это переходом кристаллических структур силикатов глины в аморфные соединения при обжиге глин в температурном интервале $700 - 1200$ °С. Тонкомолотый кирпич содержит морфологические частицы, представляющие полевой шпат и кварц, что и обеспечивает пуццолановую активность при взаимодействии с известью при комнатной температуре.

Выявлено, что в тонкомолотом порошке на основе боя глиняного кирпича содержание оксидов кремния, магния и железа составляет 78%, в результате чего порошок обладает пуццолановой активностью.

Смесь гидроксида кальция (извести) с молотым боем кирпича, и затворенная водой впоследствии, при твердении способна образовывать гидросиликаты кальция и гидроалюминаты кальция (C-S-H и C-A-H). Условием протекания реакции является значение pH-раствора, равного 12,5 и температурой воздуха 25°C .

Исследователями было установлено, что высокие концентрации ионов OH^- способны разрушать связи в кремнеземе, силикатах и алюмосиликатах с образованием простых ионов, в соответствии со следующей химической реакцией [14,15]:



Скорость растворения силиката выше, чем у алюмината, а для образования алюмината кальция требуется более высокая концентрация

ионов кальция. Поэтому в первую очередь на частицах пуццоланов появятся гели CSH, а затем на поверхности гелей CSH выпадут гексагональные листы алюминатов кальция [3, 8, 12]. Причем скорость проявления пуццолановой реакции тем выше, чем выше величина удельной поверхности молотого кирпичного боя. Оптимальная величина удельной поверхности молотого порошка должна быть 3200-5500см²/г [16].

Свойства растворов с тонким наполнителем из боя глиняного кирпича

Для исследований свойств цементно-песчаных растворов с молотым боем глиняного кирпича применяли речной Сурский песок с модулем крупности $M_{кр}=1,43$, водные растворы силиката натрия и NaOH. Соотношение между вяжущим и песком составляет 1:3, В/Ц отношение 0,5÷0,7 (равно подвижные смеси). Вяжущее - портландцемент М500 Д0 (ЦЕМ I 42,5Н). Составы растворов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Составы цементно-песчаных растворов, наполненных молотым порошком из боя глиняного кирпича

№ состав	Соотношение компонентов в смеси вяжущего Ц: ТМК (%)	Удельная поверхность ТМК, см ² /г	Затворитель	Прочность в возрасте 28 сут, МПа
1	2	3	4	5
1	100:0	3200	H ₂ O	18,3
2	100:10	3200	H ₂ O	18,5
3	100:15	3200	H ₂ O	19,4
4	100:20	3200	H ₂ O	23,9
5	100:25	3200	H ₂ O	21,0
22	100:10	4200	H ₂ O	20,6
23	100:15	4200	H ₂ O	23,7

24	100:20	4200	H ₂ O	28,1
25	100:25	4200	H ₂ O	24,4
1	2	3	4	5
32	100:10	5500	H ₂ O	22,5
33	100:15	5500	H ₂ O	26,3
34	100:20	5500	H ₂ O	29,6
35	100:25	5500	H ₂ O	26,5

Примечание. Речной песок во всех составах на 40% заменяется песком из боя кирпича с $M_{кр}=1,85$.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что оптимальная дозировка ТМК (молотый лом керамического кирпича) составляет 20% от массы портландцемента (повышение прочности относительно состава №1 составляет 30,6%), а удельная поверхность ТМК – 5200 см²/г.

В табл. 2 представлены результаты испытания цементно – песчаных растворов, модифицированных щелочными водными растворами, причем отобраны составы из табл.1 с наилучшими показателями.

Таблица 2

№ состав	Соотношение компонентов в смеси вяжущего Ц:ТМК (%)	Удельная поверхность ТМК, см ² /г	Затворитель	Прочность в возрасте 28 сут, МПа
1	2	3	4	5
1	100:0	3200	H ₂ O	18,3
2	100:20	3200	NaOH	23,9
3	100:20	4200	NaOH	26,0
4	100:20	5200	NaOH	28,5
5	100:20	3200	Жидкое стекло	24,7
6	100:20	4200	Жидкое стекло	27,9

7	100:20	5200	Жидкое стекло	31,2
---	--------	------	------------------	------

Анализ полученных результатов (табл.1,2) показал, что комплексное вяжущее на основе портландцемента и тонкомолотого боя глиняного кирпича возможно активизировать с целью получения более высоких прочностных показателей растворов.

Исследователи [9, 10, 13] подтвердили результаты наших исследований, а именно - что цементные пасты и растворы, активируемые щелочью (NaOH) и водными растворами силиката натрия, имеют прочностные показатели, на 5-10% выше контрольного состава при таком же расходе портландцемента и имеющие равную подвижность.

Прочность раствора на сжатие составляла приблизительно 31,2 МПа при удельной поверхности ТМК 5200 см²/г. активируемого раствором силиката натрия, что на 70 % больше прочности контрольного состава (табл.2). Активация щелочью способствует также повышению прочности относительно контрольного состава на 55,2 %.

Кроме того, замещение портландцемента ТМЦ более 20% приводит к снижению прочностных показателей раствора. Это, возможно, связано с пуццолановой активностью, что частично приводит к образованию метастабильного С-А-Н, а метастабильный С-А-Н может превращаться в гидрогранаты [30]. В то же время гидрогранаты способствуют уменьшению прочности цементного камня в строительных растворах [16] в ранних сроках твердения (до 30 суток), но к 90 суткам прочность возрастает до показателей растворов с дозировкой ТМК 20%.

Выводы

1. Молотый бой лома глиняного кирпича до удельной поверхности $S_{уд.} = 3200-5200$ см²/г. целесообразно использовать в цементных композициях с

целью экономии портландцемента и снижение выбросов углекислого газа в атмосферу.

2. Оптимальная дозировка ТМК в комплексном вяжущем - 20%.
3. В качестве активатора композиционного вяжущего целесообразно применять водные растворы щелочей и жидкого стекла. Прирост прочности цементного раствора с щелочным активатором составляет 55-70% относительно контрольного состава.
4. Прирост прочности объясняется формированием оптимальной структуры цементного камня за счет проявления пуццолановой активности ТМК, путем получения нерастворимых гидрогранатов и более плотной упаковки структуры цементного камня с минимальным размером пор.
5. Природный кварцевый песок также целесообразно заменять на песок с $M_{кр}=1,84$, полученного из боя глиняного кирпича. Прочность раствора соответствует проектным значениям.

Литература

1. Rao A., Jha K.N., Misra S. Using recycled construction and demolition waste aggregates in concrete // Resources, conservation and recycling. 2007. Vol. 50. № 1, pp. 71-81.
 2. Lennon M. Construction and demolition waste recycling: a guide for architects and contractors. Commonwealth of Massachusetts, department of environmental conservation, 2005. 57 p.
 3. Xiao T.K., Ling S.K., Coe K. Wang, K.S. Poon. Using earthquake waste to make concrete blocks for partitions // Waste Management. 2011. Vol. 31. № 8, pp. 1859-1866.
 4. Романенко И.И., Петровнина И.Н. Направленное формирование матрицы цементного камня // Дневник науки. 2017. № 11 (11). С. 17-24.
 5. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. М.: Наука, 1966. 213 с.
-

6. Robio Salazar R.A., Mattei Centeno P.E., Silva Urrego J.F., Burgos Galindo D.M., Delvasto Arjona S. Construction and demolition waste: a management and reuse analysis in Cali // Revista Tecnura. 2015. Vol. 19. № 44, pp. 157-170.

7. Курочка П.Н., Гаврилов А.В. Бетоны на комплексном вяжущем и мелком песке // Инженерный вестник Дона, 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1562.

8. Devenny A., Khalaf F.M. The use of crushed bricks as a coarse aggregate in concrete // Masonry International. 1999. Vol. 12. № 3, pp. 81-84.

9. Романенко И.И., Петровнина И.Н., Еличев К.А., Романенко М.И. Стабилизация грунта неорганическими вяжущими при строительстве дорог в Пензе // Уральский научный вестник. 2016. Т. 10. № 2. С. 85-89.

10. Letelier V., Ortega J., Munoz P., Tarela E., Moriconi G. Effect of brick waste powder on the mechanical properties of recycled aggregate concrete // Sustainability. Vol. 10. № 4. P. 1037.

11. Бутакова М.Д., Зырянов Ф.А. Исследование свойств бетонных смесей и бетонов на основе мелкозернистых минеральных отходов горного производства // Инженерный вестник Дона, 2012, № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/983.

12. Aliabdo A.A., Abd-Elmoati M., Hassan H.H. The use of crushed clay bricks in the concrete industry // Alexandria Engineering Journal. 2014. Vol. 53. № 1, pp. 151-168.

13. Goncalves J.P., Tavares L.M., Toledo Filho R.D., Fairburn E.M.R. Evaluation of the effectiveness of cement slurries modified with metakaolin or ground bricks // Building and Building Materials. 2009. Vol. 23. № 5, pp. 1971-1979.

14. Liu S., Dai R., Cao Q., Gao Z. The role of sintered clay brick powder in the hydration process of cement pastes // Iranian Science and Technology Journal. Proceedings of Civil Engineering. 2017. Vol. 41. № 2, pp. 159 -165.

15. Романенко И.И., Пилясов Б.В. Материал на основе металлургических шлаков для укрепления дорожных оснований // Строительные материалы. 2008. № 12. С. 28-29.

16. Wongs A., Sata V., Nuaklong P., Chindaprasirt P. Use of crushed clay brick and pumice aggregates in lightweight geopolymer concrete // Construction and building materials. 2018. Vol. 188, pp. 1025-1034.

References

1. Rao A., Jha K.N., Misra S. Resources, conservation and recycling. 2007. Vol. 50. № 1, pp. 71-81.

2. Lennon M. Commonwealth of Massachusetts, department of environmental conservation, 2005. 57 p.

3. Xiao T.K., Ling S.K., Coe K. Wang, K.S. Poon. Waste Management. 2011. Vol. 31. № 8, pp. 1859-1866.

4. Romanenko I.I., Petrovnina I.N. Dnevnik nauki. 2017. №11 (11), pp. 17-24.

5. Rebinder P.A. Fiziko-khimicheskaya mekhanika dispersnykh struktur [Physico-chemical mechanics of dispersed structures]. M.: Nauka, 1966. 213 p.

6. Robio Salazar R.A., Mattei Centeno P.E., Silva Urrego J.F. Revista Tecnura. 2015. Vol. 19. № 44, pp. 157-170.

7. Kurochka P.N., Gavrilov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1562.

8. Devenny A., Khalaf F.M. Masonry International. 1999. Vol. 12. № 3, pp. 81-84.

9. Romanenko I.I., Petrovnina I.N., Yelichev K.A., Romanenko M.I. Ural'skiy nauchnyy vestnik. 2016. T. 10. № 2, pp. 85-89.



10. Letelier V., Ortega J., Munoz P., Tarela E., Moriconi G. Sustainability. Vol. 10. № 4. P. 1037.
11. Butakova M.D., Zyryanov F.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/983.
12. Aliabdo A.A., Abd-Elmoati M., Hassan H.H. Alexandria Engineering Journal. 2014. Vol. 53. № 1, pp. 151-168.
13. Goncalves J.P., Tavares L.M., Toledo Filho R.D., Fairburn E.M.R. Building and Building Materials. 2009. Vol. 23. № 5, pp. 1971-1979.
14. Liu S., Dai R., Cao Q., Gao Z. Iranian Science and Technology Journal. Proceedings of Civil Engineering. 2017. Vol. 41. № 2, pp. 159 -165.
15. Romanenko I.I., Pilyasov B.V. Stroitel'nyye materialy. 2008. № 12, pp. 28-29.
16. WONGSA A., Sata V., Nuaklong P., Chindaprasirt P. Construction and building materials. 2018. Vol. 188, pp. 1025-1034.