

Взгляд на проблему повторного применения лома бетона в строительной индустрии

И. И. Романенко, И.Н. Петровнина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза

Аннотация: Бетонные тротуарные плитки для дорожного строительства изготавливают из смесей, состоящих из гидравлического вяжущего, мелкого и крупного заполнителей и воды. Приготовленная смесь заданной влажности подвергается виброформованию при следующем технологическом режиме: длительность процесса 5 – 10 секунд, частота вибрации 30–50 Гц и давление 70 – 80 кг/см². Твердение свежесформованных образцов осуществляется в камере в тепловлажностной обработке. Установлено, что возможно заменить природный крупный заполнитель на фракционированный лом бетона. Прочность на сжатие бетонов с заполнителем на основе вторичного щебня составляет 300 – 400 кг/см², водопоглощение 4,8 – 6,2 %, морозостойкость F₂ 200 – 300. Предложенная технология позволяет решить, как экономические вопросы, так и экологические для регионов, обладающих большим количеством бетонного лома на временных площадках хранения промышленных отходов.

Ключевые слова: бетонная смесь, виброформование, модификаторы, наполнитель, отход, лом бетона, прочность.

В производстве бетонной смеси для виброформованного изделия – брусчатки для мощения тротуаров, стоянок, площадей и проезжей части дорог широко применяют модификаторы структуры бетонной матрицы: химические добавки, минеральные наполнители. Широкое применение получила зола-унос, которая является побочным продуктом теплоэлектростанций от сжигания угля [1, 2].

При этом бетонная смесь должна иметь водоцементное отношение (В/Ц) в интервале 0,3 - 0,39 для обеспечения хорошей формуемости и получения приемлемой внешней эстетичности изделий [3]. Это обеспечивается применением мелкодисперсного наполнителя, у которого размер зерна частиц не превышает 0,12 мм, что способствует увеличению водопотребности бетонной смеси и снижению прочностных показателей готовых изделий [4, 5].

Использование пластифицирующих добавок второго и третьего поколения способствует снижению В/Ц отношения и получению изделий из бетона с заданными эксплуатационными параметрами [5, 6].

Для получения высококачественной продукции требуется большое количество заполнителей высокого качества, а для этого нужна разработка новых карьеров по добыче песка и щебня, что накладывает отпечаток на стоимость готовой продукции из-за логических цепочек по доставке материалов от карьера до производителя продукции [6]. В то же время на площадках по утилизации промышленных отходов находится лом бетона и железобетона, который представляет из себя ценнейший материал для производства бетона. После вторичной обработки и фракционирования получается кубовидный щебень с покрытием по поверхности частиц оболочкой гидратированного клинкерного фонда, которая является центром гидратации в бетонной смеси [3, 5, 7].

Цель исследования - определение целесообразности применения лома бетона в качестве заполнителя бетонной смеси при производстве изделий дорожного назначения по технологии виброформования.

Для этого бетонная смесь должна обладать хорошей формуемостью за счет однородности состава. В исследованиях предложено три подхода для достижения поставленной цели.

Первый: полная замена крупного заполнителя в бетонной смеси на щебень из лома бетона фракции 5-10 мм.

Второй: замена крупного заполнителя частично на 10; 44; 50 % на щебень из лома бетона фракции 5-10 мм.

Третий: частичная замена песка на пылеватый отход от дробления лома бетона.

При этом рассматривается проблема по снижению водопотребности бетонной смеси, склонность к виброуплотнению и получению ранней

прочности бетонных изделий в соответствии с требованиями к данному виду изделий.

Материалы и методики.

Портландцемент ПТЦ М500 Д0 (ЦЕМ I 42,5 Н); наполнитель - молотый бетонный лом фракции 2,5-5,0 мм, удельная поверхность $S_{уд}=2880 \text{ см}^2/\text{г}$, песок речной, Сурский, модуль крупности $M_{кр}=1,78$; крупный заполнитель из лома бетона марки М300 фракции 5-10 мм, гиперпластификатор «Хидитал-ГП-9х» на основе поликарбоксилатов, вода питьевая.

Дробление бетонного лома осуществляли в лабораторной щековой дробилки с последующим разделением по фракциям на горизонтальный ситах. В исследованиях использовали фракцию 5-10 мм, а полученный песок измельчали до удельной поверхности $S_{уд}=2880 \text{ см}^2/\text{г}$ в шаровой керамической мельнице, наполненной цельпепсами.

Для определения прочностных показателей формовались на виброустановке кубики размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ в формах моментального съема. Технологический процесс формовки на лабораторном вибростенде следующий: частота вибрации 30–50 Гц, давление подпрессовки составляет $70 - 80 \text{ кг/см}^2$, длительность процесса 5 – 10 секунд.

Образцы хранились в камере нормального твердения (НУ) при температуре $T=23,5 \text{ }^\circ\text{C}$ и влажности $W=95 \text{ \%}$. Образцы бетона испытывались в возрасте 3 и 28 суток твердения на гидравлическом прессе.

Водопоглощение, морозостойкость, прочность на сжатие определялись по методикам ГОСТ: ГОСТ 12730.0 Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости; ГОСТ 12730.3 — 2020 Бетоны. Метод определения водопоглощения; ГОСТ 10060 — 2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости, ГОСТ 10180—2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам; ГОСТ 18105— 2010 Бетоны. Правила

контроля и оценки прочности; ГОСТ 28570—90 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.

За контрольный состав принята бетонная смесь с подбором специализированного предприятия на основе гранитного щебня. Результаты испытаний и составы представлены в табл.

Таблица

Составы и свойства вибробетонов на основе бетонного лома

Ингредиенты	Расход материалов на, кг/м ³					
	Составы					
	1к	2	3	4	5	6
ЦЕМ I 42,5 Н	430	430	430	430	430	430
Молотый бетонный лом	-	-	-	-	100	120
Щебень (гранитный) фр. 5-10 мм	250	-	250	200	130	-
Щебень (гранитный) фр. 2-4 мм	250	-		250	150	250
Щебень (бетонный лом), фр. 5-10 мм.	-	500	250	50	220	250
Песок Сурский, M _{кр} =1,8	1250	1250	1250	1050	750	600
Песок Сурский, фр. 0,63-0,23	-	-	-	-	100	250
Песок (бетонный лом), фр. 0,32-0,16	-	-	-	200	300	280
«Хидитал-ГП-9γ», л (% от массы вяжущего)	-	3,0 (1,0)	3,0 (1,0)	3,0 (1,4)	3,0 (1,0)	3,0 (1,0)
Murasan BWA 16, л (% от массы вяжущего)	2,5 (0,5)					
Вода, л	50	50	50	50	50	50
В/Ц	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2230	2230	2230	2230	2200	2230
Прочность, МПа на 3 сутки	18,8	16,1	15,4	20,0	18,0	19,7
Прочность, МПа на 28 сутки	39,4	29,8	38,6	42,2	39,1	45,4
Водопоглощение на 28 сутки, %	5,8	7,7	6,1	5,9	7,5	6,2
Морозостойкость (F ₂), цикл	300	200	250	300	300	300

Полученные результаты (табл.) показывают, что можно получить бетон на основе фракционного щебня из лома бетона марки М 300, который будет отвечать требованиям предъявляемым к виброформованным бетонам для

дорожного строительства. Проблема, связанная с заменой природного заполнителя на вторичный полученный из лома бетона и железобетона стоит очень актуально. Особенно это касается новых регионов России. Но для этого требуется организовать работы по организации сбора отходов, сортировке, освобождению от металла и затем произвести фракционирование щебня и домалывание фракции 0-10 мм до тонины помола портландцемента.

Анализируя результаты испытания (табл.), видно, что использование лома бетона целесообразно. Так, в составе № 2, щебень природный полностью заменен на фракционированный щебень из лома бетона. Прочность состава № 2 составляет 29,8 МПа, меньше контрольного состава на 24,4 %, а морозостойкость $F_2 200$, что позволяет выпускать изделия для мощения тротуаров толщиной 40 – 50 мм.

Состав № 3 – замена расхода природного гранитного щебня на фракционированный щебень из лома бетона в количестве 50 %. Прочность на сжатие – 38,6 МПа (снижение прочности относительно контрольного состава 0,97 %), морозостойкость $F_2 250$, водопоглощение 6,1 %.

Состав № 4 можно характеризовать, как композицию в которой заменили природный заполнитель – щебень на вторичный в количестве 10 % и песок природный на песок из лома бетона в количестве 16 %, что способствовало увеличению прочности относительно контрольного состава на 7,1 % (42,2 МПа), морозостойкость $F_2 300$, водопоглощение 5,9 %.

Наиболее оптимальным составом является № 6, т.к. прочность на сжатие составляет 45,4 МПа (115,25), морозостойкость $F_2 300$, водопоглощение 6,2 %. За счет оптимизации микроструктуры бетонного камня [8 - 10], шероховатости поверхности заполнителей из лома бетона и наличия непрогидратированных частиц цементного камня на поверхности, вторичных материалом создаются центры кристаллизации и ускорения

набора прочности. Это способствует увеличению не только прочностных показателей, но и других эксплуатационных.

Введение в состав бетонных смесей (тал. № 4,5) мелкого заполнителя, отсева фракций 0,63 - 0,23 мм и 0,32 - 0,16 мм в определенной пропорции позволили снизить пустотность за счет структурирования растворной матрицы.

Выводы

1. Снижение прочности состава № 2 относительно контрольного (№ 1к) обусловлено природой заполнителя на основе лома боя бетона и неоптимальным подбором состава бетонной смеси для виброформовочных изделий дорожного назначения.
2. Применение фракционного щебня из лома бетона подразумевает проведение предварительных испытаний для выработки производственной технологии.
3. Наилучшие показатели (табл. № 3 - 5) получены благодаря наличию центров кристаллизации и оптимизации структуры матрицы цементного камня за счет наполнением ее тонкомолотой составляющей и мелкой фракцией кварцевого песка.
4. Проведенные исследования в первую очередь являются экономическими и экологическими, так как решают вопрос о снижении себестоимости продукции и транспортных расходов, а также решают экологические проблемы из-за большого количества пылеобразующих отходов на площадках хранения. Таким образом, щебень и песок из лома бетона и железобетона – ценнейшие материалы для строительной индустрии.

Литература

1. Рахимов, Р.З., Магдеев У.Х., Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья // Материалы международного конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008». Современные проблемы строительного материаловедения и технологии, 2008. С. 441– 448.
2. 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.
3. Kadri EH, Tahar ZA, Mouret M, Rogat D. Effect of recycled aggregate on fresh concrete properties. In: Concrete recycling research and practice. Edited by F. de Larrard, H. Colina. CRC Taylor & Francis; 2019, pp. 79 –92.
4. Pellegrino C, Faleschini F. Recycled Aggregates for Concrete Production: State-of-the-Art in: Sustainability Improvement in the Concrete Industry. Use of Recycled Materials for Structural Concrete Production. Springer; 2016, p.34 – 45.
5. Романенко И.И., Петровнина И.Н., Еличев К.А., Романенко М.И. Пробуждение гидравлической активности наполнителей и заполнителей из лома глиняного кирпича // Инженерный вестник Дона, 2022. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7988.
6. Rodríguez C, Parra C, Casado G, Miñano I, Albaladejo F, Benito F, Sanchez I. The incorporation of construction and demolition wastes as recycled mixed aggregates in non-structural concrete precast pieces. J. Clean. Prod. 2016; pp. 152 –161. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.137.
7. Баженов, Ю.М., Демьянова, В.С., Калашников, В.И. Модифицированные высококачественные бетоны / Научное издание. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. - 368 с.

8. Nedeljkovic M, Visser J, Savij B, Valcke S, Schlangen E. Use of fine recycled concrete aggregates in concrete. *J. Build. Eng.* 2021; 38:102196. doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102196.
9. López Gayarre F, López-Colina C, Serrano MA, López-Martínez A. Manufacture of concrete kerbs and floor blocks with recycled aggregate from C&DW. *Con. Build. Mat.* 2013; 40: pp. 1193–1199. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.11.040.
10. Hüsken G, Brouwers HJH. A new mix design concept for earth-moist concrete: A theoretical and experimental study. *Cem. Concr. Res.* 2008. 38: pp. 1246–1259.

References

1. Rahimov, R.Z., Magdeev U.H., Yarmakovskij V.N. Materialy mezhdunarodnogo kongressa «Nauka i innovacii v stroitel'stve SIB-2008». *Sovremennye problemy stroitel'nogo materialovedeniya i tekhnologii*, 2008, pp. 441–448.
 2. Kurochka P.N., Gavrilov A.V. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1562.
 3. Kadri EH, Tahar ZA, Mouret M, Rogat D. *Concrete recycling research and practice*. Edited by F. de Larrard, H. Colina. CRC Taylor & Francis; 2019, pp. 79 – 92.
 4. Pellegrino C, Faleschini F. *Sustainability Improvement in the Concrete Industry. Use of Recycled Materials for Structural Concrete Production*. Springer; 2016, pp.34 – 45.
 5. Romanenko I.I., Petrovnina I.N., Elichev K.A., Romanenko M.I. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2022. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7988.
 6. Rodríguez C, Parra C, Casado G, Miñano I, Albaladejo F, Benito F, Sanchez I. *Clean. Prod.* 2016: pp. 152 –161. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.137.
-



7. Bazhenov, Yu.M, Dem'yanova, B.C., Kalashnikov, V.I. Modificirovannyye vysokokachestvennyye betony [Modified high quality concretes]. Nauchnoe izdanie. M.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2006. 368 P.
8. Nedeljkovic M, Visser J, Savij B, Valcke S, Schlangen E. Build. Eng. 2021: 38:102196. doi.org/10.1016/j.job.2021.102196.
9. López Gayarre F, López-Colina C, Serrano MA, López-Martínez A. Con. Build. Mat. 2013; 40: pp. 1193–1199. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.11.040.
10. Hüsken G, Brouwers HJH. Cem. Concr. Res. 2008. 38: pp. 1246–1259.

Дата поступления: 4.03.2024

Дата публикации: 10.04.2024