

Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона

М.О. Коровкин, А.И. Шестернин, Н.А. Ерошкина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза

Аннотация: Приведены результаты исследования эффективности многостадийного дробления бетонного лома по «мягкому» режиму. Установлено, что переработка бетонного лома по такой технологии позволяет значительно повысить характеристики вторичного заполнителя бетона, в частности дробимость, водопоглощение и пустотность. Это достигается за счет снижения содержания во вторичном щебне цементного камня. Образующиеся в результате такой обработки значительные объемы дисперсного материала могут применяться в качестве тонкого наполнителя в технологии самоуплотняющегося бетона. Выявлено, что при использовании продуктов дробления бетонного лома может быть получен самоуплотняющийся бетон с прочностью более 50 МПа через 28 суток твердения в нормальных условиях и более 70 МПа после одного года выдерживания в воздушно-сухих условиях. Установлено, что такой бетон имеет пониженный модуль упругости, что должно учитываться при выборе областей его применения.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, бетонный лом, вторичный заполнитель, многостадийное дробление, дробимость, водопоглощение, модуль упругости.

В отечественной строительной отрасли ежегодно образуется несколько млн т лома бетонных конструкций [1]. Источником бетонного лома являются: бетонные и железобетонные конструкции после разборки физически и морально устаревших зданий; брак и технологические отходы на заводах сборного железобетона и строительных площадках; рекультивация промышленных и стихийных свалок.

В крупных городах работают технологические линии по переработке железобетонных конструкций. Они позволяют получать после дробления бетонного лома и извлечения арматуры так называемый «вторичный щебень». Однако по существующим технологиям невозможно производить из лома бетонных конструкций качественный заполнитель для бетона [2]. Вторичный щебень из-за его низких характеристик используется обычно для производства низкомарочных бетонов и в дорожном строительстве [3, 4].

Причина низкой прочности вторичного щебня, получаемого по традиционной технологии, – содержание в его составе значительного объема цементного камня, который имеет прочность на порядок ниже, чем крупный и мелкий заполнители [5, 6].

Повышение прочностных и других характеристик вторичного щебня возможно при дроблении по режимам, обеспечивающим разрушение преимущественно цементного камня. Для обеспечения такого режима измельчения создается специальное оборудование, например виброщечковые или конусные инерционные дробилки [7]. Повышение характеристик вторичного щебня возможно и за счет различных технологических приемов, в частности механической обработки в бетоносмесителе, пропитки упрочняющими полимерными растворами [5, 6].

Для повышения характеристик заполнителя может быть использовано многостадийное измельчение бетонного лома по «мягкому» режиму в обычных щековых дробилках. Для обеспечения такого режима разгрузочное отверстие дробилки должно быть открыто до максимально возможной ширины, а дробление должно вестись при максимальном заполнении рабочего пространства дробилки в режиме «завала». При таком режиме разрушение бетонного лома происходит за счет контактного взаимодействия дробимого материала между собой в отличие от традиционного режима дробления, при котором разрушение материала происходит в результате «жесткого» воздействия на него подвижной щеки дробилки. Измельчение по «мягкому» режиму обеспечивает разрушение преимущественно менее прочных частиц цементного камня и растворной составляющей бетона, а также отделение этих компонентов бетона от зерен крупного заполнителя. В таком режиме степень измельчения материала снижается, поэтому он должен подвергаться двух- или трехкратному дроблению.

Испытания характеристик вторичного щебня показали высокую эффективность многостадийного способа измельчения. Как видно на рис. 1, после измельчения в 3-4 стадии по «мягкому» режиму значительно улучшаются характеристики щебня фракции 5-10 мм – водопоглощение (W), пустотность (П) и средняя толщина зерен (b).

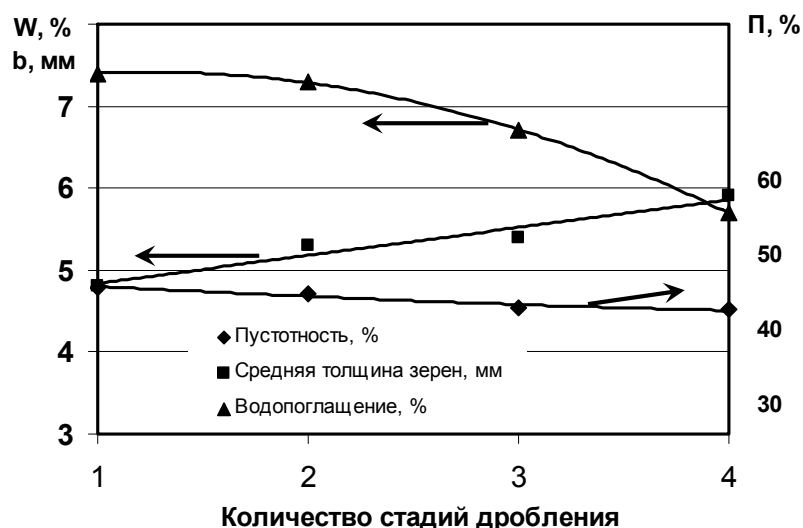


Рис. 1 – Влияние дробления на свойства вторичного щебня фр. 5-10 мм

Повышение характеристик вторичного щебня обеспечивается за счет постепенного уменьшения содержания во вторичном щебне цементного камня, что подтверждается снижением водопоглощения и повышением плотности вторичного щебня. Кроме того, дробление в 2-3 стадии позволяет снизить межзерновую пустотность щебня за счет улучшения формы зерен, которая характеризовалась в эксперименте средней толщиной зерен b.

Результаты определения прочности щебня по дробимости в цилиндре также показывают эффективность многостадийного дробления бетонного лома (рис. 2).

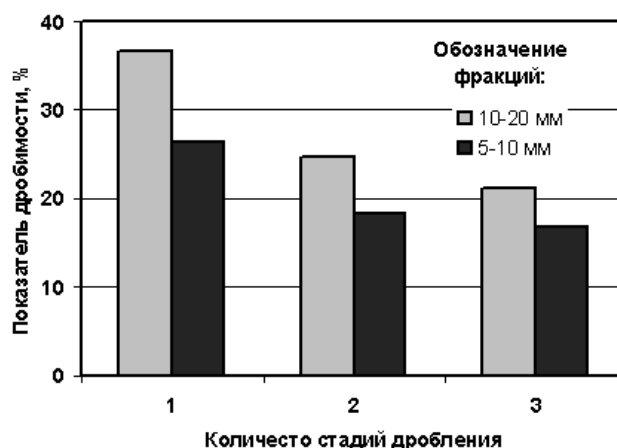


Рис. 2 – Влияние повторного дробления на прочность различных фракций вторичного щебня

Двух- и трехстадийное дробление вторичного щебня существенно повышает его прочность и другие характеристики, однако приводит к образованию значительных объемов мелкой и тонкой фракций продуктов дробления. Эти фракции, так же, как и щебень после однократного дробления, имели низкую прочность; поэтому их применение в качестве мелкого и тонкого заполнителя взамен природного песка приводит к снижению прочности бетонов и строительных растворов. Для повышения прочностных свойств этих фракций они подвергались в ходе эксперимента помолу в лабораторной шаровой мельнице в течение 2 минут. Это привело к увеличению доли мелких и тонких фракций в заполнителе, но позволило повысить прочность мелкозернистого бетона более чем в два раза. При определении прочностных характеристик зерновой состав заполнителя до и после помола был одинаков.

Многостадийное дробление позволяет повысить характеристики заполнителя, однако приводит к образованию большого объема мелких фракций, состоящих преимущественно из частиц цементного камня. Гранулометрический состав полученного крупного и мелкого заполнителей не позволяет их использовать для производства традиционных бетонов без

отсева тонких и мелких фракций. Очевидно, что такая технологическая операция приведет к образованию большого объема материала, который также нельзя использовать в традиционной технологии бетона.

С учетом зернового состава продуктов многостадийного дробления наиболее перспективной областью применения этого материала является самоуплотняющийся бетон, так как его технология позволяет использовать большие объемы мелкой и тонкой фракции, образующиеся при дроблении бетонного лома. Это связано с тем, что один из ключевых элементов технологии самоуплотняющегося бетона – использование тонкого наполнителя [8]. Кроме того, в самоуплотняющемся бетоне ограничиваются содержание крупного заполнителя и его максимальная крупность, что является еще одним аргументом в пользу применения продуктов дробления бетонного лома в этой технологии. Следует отметить, что применение различных дисперсных минеральных отходов в качестве тонкого наполнителя рассматривается как один из путей снижения стоимости и увеличения объемов использования самоуплотняющегося бетона.

С учетом того, что пески с содержанием частиц менее 0,63 мм широко распространены и достаточно дешевы, эту фракцию продуктов дробления бетонного лома, характеризующуюся высокой пористостью и низкой прочностью, целесообразно измельчать в мельницах до дисперсности, сопоставимой с дисперсностью цемента. Это позволит получить достаточные объемы тонкого наполнителя самоуплотняющегося бетона.

Для оценки возможности использования заполнителя, полученного при дроблении бетонного лома в технологии самоуплотняющегося бетона, было исследовано два состава. В первом применялись доломитовый щебень марки 1200 с плотностью 2880 кг/м^3 и отсев его дробления, который использовался для оптимизации зернового состава мелкого заполнителя [9], а также доломитовая мука с $S_{уд} = 340 \text{ м}^2/\text{кг}$ в качестве тонкого заполнителя.

Во втором составе в качестве крупного заполнителя использовался вторичный щебень фракций 5-10 и 10-20 мм. Отсев дробления бетона фракции 0,63-5 мм применялся для оптимизации гранулометрического состава мелкого заполнителя на основе кварцевого песка. Для получения тонкого заполнителя отсев дробления менее 0,63 мм измельчался в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности $S_{уд} = 334 \text{ м}^2/\text{кг}$.

В качестве мелкого заполнителя в обоих составах использовался песок Сурского месторождения. В связи с тем, что содержание в этом песке зерен менее 0,63 мм более 90 %, природный песок обогащался отсевами дробления щебня или бетонного лома.

Составы исследованных бетонов, их прочность приведены в таблице.

Составы исследованных бетонов и их свойства

№ состава	Состав бетона	Расход, кг/м ³	Рас-плыв, мм	Прочность, МПа, после		
				1 сут	28 сут	ТВО
1	Цемент	310	583	21,1	58,4	49,5
	Вода	170				
	Песок	257				
	Щебень доломитовый (фр. 10-20)	256				
	Щебень доломитовый (фр. 5-10)	513				
	Отсев дробления щебня	722				
	Мука доломитовая	295				
	Пластификатор Sika ViscoCrete 20 HE	1,6				
2	Цемент	313	536	10,2	53,6	41,2
	Вода	190				
	Песок	257				
	Щебень бетонный (фр. 10-20)	257				
	Щебень бетонный (фр. 5-10)	444				
	Песок бетонный	696				
	Тонкий заполнитель на основе измельченного бетонного лома	280				
	Пластификатор Sika ViscoCrete 20 HE	1,6				

Как видно из данных, приведенных в таблице, у бетонной смеси, приготовленной с применением продуктов дробления бетонного лома, несмотря на более высокий расход воды, расплыв заметно меньше, что свидетельствует о высокой водопотребности вторичного заполнителя. Замена качественного заполнителя на бетонный лом приводит к снижению прочности бетона в возрасте 1 суток в 2 раза. Это связано с более высоким расходом воды в составе с вторичным заполнителем, что вызывает более продолжительный блокирующий эффект пластифицирующей добавки. Через 28 суток прочность бетона на дробленном ломе также ниже, но снижение составляет всего 8 %.

При хранении образцов, изготовленных с применением бетонного лома, в течение года в воздушно-сухих условиях бетон достиг прочности 73,8 МПа, а призменная прочность составила 57,5 МПа. При этом модуль упругости составил всего 24,3 МПа, что в 1,6 раза ниже значения, указанного в нормативном документе (СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения), регламентирующем этот показатель для бетона класса В55. Столь низкое значение модуля упругости исследованного бетона объясняется особенностью его состава и структуры.

Во-первых, в самоуплотняющемся бетоне меньше, чем в обычном бетоне, содержание заполнителей, характеризующихся высокими значениями модуля упругости, и больше – низко модульного цементного камня. Отмечается, что модуль упругости самоуплотняющихся бетонов на 15 % ниже, чем модуль у обычных бетонов [10].

Во-вторых, вторичные заполнители содержат низко модульные включения растворной составляющей бетона, которые также снижают модуль упругости изготовленного с применением продуктов дробления бетона. Установлено, что модуль упругости у таких бетонов на 7...18% ниже, чем у бетонов на природных заполнителях [11].

Причиной снижения модуля упругости самоуплотняющегося бетона, изготовленного с применением бетонного лома, – использование в качестве тонкого наполнителя измельченного цементного камня. Эта особенность исследованного материала должна учитываться при выборе области его применения.

Исследования усадки самоуплотняющегося бетона на основе продуктов переработки бетонного лома, проводившиеся в течение одного года, показали, что эта характеристика находится в пределах 0,3...0,34 мм/м (рис. 3), что не подтверждает данные о значительно более высокой усадке самоуплотняющихся бетонов [12].

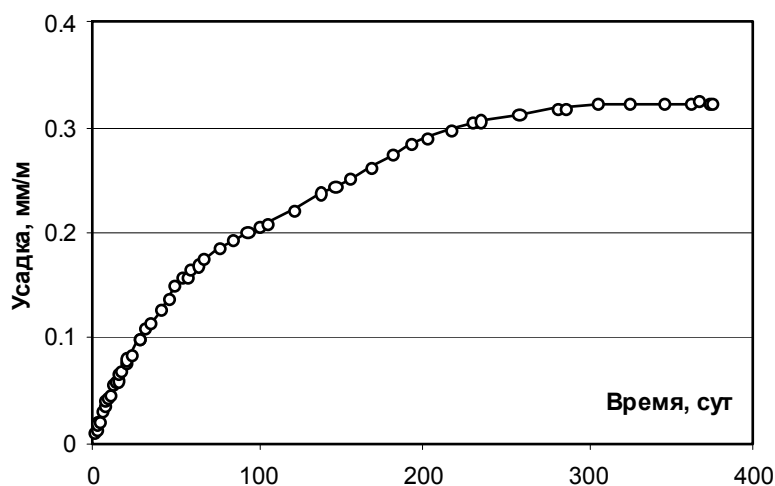


Рис. 3 – Кинетика усадочных деформаций состава 2 (по таблице)

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- бетонный лом после многостадийного дробления по «мягкому» режиму может быть использован в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона;

- замена высококачественных заполнителей на продукты дробления бетонного лома в самоуплотняющемся бетоне приводит к снижению прочности на 8-10 %. Однако свойства полученного бетона, в частности

прочность более 50 МПа после 28 суток нормального твердения, позволяют использовать его для производства большинства конструкций современных зданий и сооружений;

- самоуплотняющийся бетон, полученный на основе продуктов дробления бетонного лома, имеет пониженный модуль упругости, что необходимо учитывать при выборе рациональных областей применения этого бетона.

- предлагаемая технология переработки бетонного лома дает возможность получать недорогой заполнитель с гранулометрическим составом, необходимым для производства новой высокоэффективной разновидности бетона – самоуплотняющегося бетона.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственной работы «Обеспечение проведения научных исследований».

Литература

1. Кальгин А.А., Фахратов М.А. Эффективность использования дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий // СРІ Международное бетонное производство. 2007. № 5. С. 162-163.

2. Бибик М.С., Тулупов И.И. Исследование физико-механических характеристик заполнителей из дробленого бетона // Строительная наука и техника. 2008. № 3. С. 27–31.

3. Florea M.V.A., Brouwers H.J.H. Properties of various size fractions of crushed concrete related to process conditions and re-use // Cement and Concrete Research. 2013. Vol. 52. pp. 11-21.

4. Surya M., Kanta Rao V.V.L., Lakshmy P. Recycled Aggregate Concrete for Transportation Infrastructure // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 104. pp. 1158-1167.

5. Гусев Б.В., Загурский В.А. Вторичное использование бетонов. М.: Стройиздат, 1988. 97 с.

6. Курочка П.Н., Мирзалиев Р.Р. Свойства щебня из продуктов дробления вторичного бетона как инертного заполнителя бетонных смесей // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2) URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1441.

7. Арсентьев В.А., Мармандян В.З., Добромыслов Д.Д. Современные технологические линии для строительного рециклинга // Строительные материалы. 2006. № 8. С. 64-66.

8. Оучи М. Самоуплотняющиеся бетоны: разработка, применение и ключевые технологии // Бетон на рубеже третьего тысячелетия: Труды 1-ой Всероссийской конференции по бетону и железобетону. М.: Готика, 2001. С. 209-215.

9. 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.

10. Болотских О.Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика. Часть 1 // Технологии бетонов. 2008. №11 (28). С. 28-30.

11. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 368 с.

12. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны (SCC): усадка // Строительные материалы. 2009. № 8. С. 52-54.

References

1. Kal'gin A.A., Fakhratov M.A. CPI Mezhdunarodnoe betonnoe proizvodstvo. 2007. № 5. pp. 162-163.

2. Bibik M.S., Tulupov I.I. Stroitel'naya nauka i tekhnika. 2008. № 3. pp. 27–31.



3. Florea M.V.A., Brouwers H.J.H. Cement and Concrete Research. 2013. Vol. 52. pp. 11-21.
4. Surya M., Kanta Rao V.V.L., Lakshmy P. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 104. pp. 1158-1167.
5. Gusev B.V., Zagurskiy V.A. Vtorichnoe ispol'zovanie betonov [Recycling concrete]. M.: Stroyizdat, 1988. 97 p.
6. Kurochka P.N., Mirzaliev R.R. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1441.
7. Arsent'ev V.A., Marmandyan V.Z., Dobromyslov D.D. Stroitel'nye materialy. 2006. № 8. pp. 64-66.
8. Ouchi M. Beton na rubezhe tret'ego tysyacheletiya: Trudy 1-oy Vserossiyskoy konferentsii po betonu i zhelezobetonu [Concrete at the Turn of the Third Millennium: Proc. of the 1st All-Russia conference on concrete and reinforced concrete]. M.: Gotika, 2001. pp. 209-215.
9. Butakova M.D., Zyryanov F.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/983.
10. Bolotskikh O.N. Tekhnologii betonov. 2008. №11 (28). pp. 28-30.
11. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti [Building Materials from Industrial Wastes]. Rostov n/D: Feniks, 2007. 368 p.
12. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Stroitel'nye materialy. 2009. № 8. pp. 52-54.