

Влияние вторичного заполнителя на основе бетонного лома на свойства бетона

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

В.В. Зенкин, С.М. Саденко

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза

Аннотация: Исследовано влияние вторичного щебня на прочность и усадку бетона. Показано, что при замещении гранитного крупного заполнителя на дробленый бетон прочность на сжатие бетона снижается в среднем на 20 %, а прочность на изгиб – на 3-10%. Бетоны на вторичном щебне имеют большую усадку, но при минимальных исследованных дозировках рециклингового заполнителя их усадка незначительно отличается от усадки бетона на гранитном щебне.

Ключевые слова: отходы сноса, бетонный лом, рециклинг, вторичный заполнитель, прочность на сжатие, прочность на изгиб, усадка.

Количество отходов сноса зданий ежегодно увеличивается. Однако, несмотря на низкую стоимость этих вторичных сырьевых ресурсов и возможность решить при их утилизации некоторые экологические проблемы, доля рециклируемых строительных материалов невелика. Так, по данным [1], в России перерабатывается и используется не более 10 % из ежегодно образующихся 15-17 млн т строительных отходов.

К числу причин незначительного уровня переработки отходов сноса относятся низкие характеристики вторичного щебня на основе бетонного лома, что связано с присутствием в его составе цементно-песчаного камня [2], а также значительные затраты на организацию переработки отходов в совокупности с низкими платежами за их размещение на полигонах [3].

Присутствие в рециклинговом заполнителе пористого и малопрочного цементного камня не только снижает прочностные характеристики бетона, но и значительно увеличивает усадку, уменьшает модуль упругости, трещиностойкость и долговечность бетона, изготовленного с применением вторичного заполнителя [4].

Для снижения содержания во вторичном щебне из бетонного лома пористой и малопрочной растворной составляющей может быть использовано дробление в щековой дробилке по мягком режиму [5]. Такой режим обеспечивается при дроблении под завалом при максимально открытой разгрузочной щели или в модернизированной дробилке [6]. При дроблении по мягкому режиму разрушение бетонного лома происходит не при воздействии на материал рабочих органов дробилки, а в большей степени благодаря самоизмельчению зерен, при котором разрушается преимущественно менее прочная растворная составляющая перерабатываемого бетона. Одним из эффективных методов повышения качественных показателей вторичного щебня является применение вибрационных дробилок, в которых происходит принудительное саморазрушение материала, что позволяет, по мнению [7], значительно повысить степень «оттирки» цементного камня с поверхности щебня.

Для исследования влияния вторичного щебня из бетонного лома на свойства бетона был использован крупный заполнитель, полученный дроблением образцов-кубов бетона с ребром длиной 100 мм после их испытания на сжатие. Прочность бетона в использованных образцах составляла 30-45 МПа. Частично разрушенные бетонные образцы подвергались трехкратному дроблению по мягкому режиму [4] в лабораторной щековой дробилке ШД-6.

Исследованный вторичный заполнитель фр. 5-10 мм характеризовался средней плотностью 2460 кг/м^3 , насыпной плотностью 1210 кг/м^3 , водопоглощением 8,6 % и маркой по дробимости 800. Для приготовления контрольного состава на природном заполнителе использовался гранитный щебень фр. 5-10 мм Павловского месторождения (Воронежская обл.) с насыпной плотностью 1480 кг/м^3 , средней плотностью 2620 кг/м^3 . В качестве

мелкого заполнителя для приготовления бетона применялся песок с модулем крупности 2,3 и плотностью 2610 кг/м³.

В экспериментах использовались цемент ЦЕМ I 42,5 производства ООО «Азия цемент» и суперпластификатор на поликарбоксилатной основе «Гиппласт Термо тип 1».

Было исследовано три состава бетона с различным содержанием вторичного щебня (табл. №1), расход которого варьировался в соответствии с принятыми значениями коэффициента избытка растворной составляющей. Суперпластификатор в количестве 3,3 кг/м³ вводился в составы после перемешивания всех компонентов.

Таблица № 1

Исследованные составы бетона

Наименование компонента	Расход компонентов, кг/м ³			
	№1	№2	№3	№4
Цемент	423	421	420	410
Щебень из бетонного лома	1004	891	802	–
Щебень гранитный	–	–	–	1085
Песок	615	742	844	675
Вода	219	213	208	164
Коэффициент избытка растворной составляющей	1,4	1,7	2	1,7

Для бетонных смесей определялись плотность и расплыв под действием собственного веса из конуса Хегермана (форма-конус по ГОСТ 310.4-81). Из смесей формовались образцы размером 40×40×160 мм. Для определения усадочных деформаций бетона в формы устанавливались репера из нержавеющей стали.

После предварительной выдержки в течение 14 ч образцы в формах подвергались тепловлажностной обработке по режиму: 3 ч – подъем температуры до 80 °С; 9 ч – изотермическая выдержка; 12 ч – остывание в пропарочной камере.

Результаты определения характеристик бетона приведены в табл. № 2, а кинетика усадочных деформаций – на рис. 1.

Таблица № 2

Свойства бетонной смеси и бетона

Характеристика	Значение			
	№1	№2	№3	№4
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	2328	2337	2341	2404
Расплав конуса Хеггермана, мм	117	122	125	230
Прочность на изгиб, МПа	6,2	6,5	6,7	6,9
Прочность на сжатие, МПа	50,6	52,7	53,5	64,9

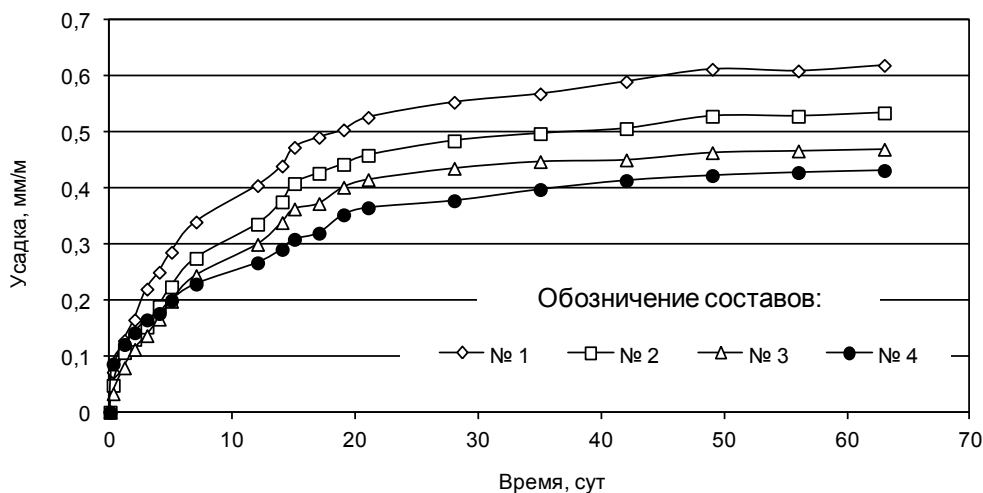


Рис. 1. – Кинетика усадочных деформаций бетона

Результаты определения расплыва смеси из конуса Хеггермана (см. табл. №2) показывают, что, несмотря на значительное увеличение расхода воды в сравнении с контрольным составом, происходит сильное загущение смеси при замене гранитного щебня на рециклинговый заполнитель. Это объясняется водопоглощением вторичного заполнителя из бетонного лома и снижением содержания воды в цементном тесте. Другим фактором, негативно влияющим на подвижность смеси, приготовленной на вторичном щебне, является формирование на поверхности пористых частиц заполнителя

слоя обезвоженного, более плотного и нетекучего цементного теста, которое фактически увеличивает размер зерен заполнителя и способствует более плотному контактному взаимодействию зерен крупного заполнителя в матрице подвижной растворной составляющей бетонной смеси. Образование слоя малоподвижной растворной составляющей на поверхности вторичного щебня визуально фиксировалось в конце процесса перемешивания смеси. Подтверждением этой гипотезы является повышение расплыва смеси при уменьшении расхода вторичного щебня, несмотря на то что дозировка воды при этом снижалась.

Поглощение влаги из цементного теста нельзя считать однозначно негативным явлением в связи с тем, что в результате его снижается истинное водоцементное отношение, а это способствует повышению прочности бетона. Кроме того, насыщение поверхностного слоя пористого заполнителя цементным тестом приводит к повышению его прочности и снижению негативного влияния малопрочного заполнителя на прочность бетона. Другим положительным проявлением миграции влаги в пористый заполнитель является создание более благоприятных условий для твердения бетона в случае его высушивания, что особенно важно для высокофункциональных бетонов с низким водоцементным отношением.

Анализ прочностных характеристик в табл. №2 показывает, что прочность на изгиб бетона на вторичном щебне ниже, чем прочность на изгиб бетона на гранитном щебне, однако это снижение (от 3 до 10 %) менее значительно в сравнении со снижением прочности бетона на сжатие – 18-22 %. Это различие можно объяснить более высокой адгезией матрицы цементного камня к заполнителю на основе бетонного лома, чем к поверхности гранитного щебня. Более высокая адгезия обусловлена химическим сродством цементного камня к поверхности рециклингового

заполнителя, которая в значительной степени представлена цементным камнем перерабатываемого бетонного лома.

Сопоставление графиков кинетики усадки (см. рис. 1) показывает, что в течение 2-3 суток у бетонов, изготовленных на рециклинговом щебне, усадочные деформации не превышают, а в некоторых составах даже ниже, чем у контрольного состава на гранитном щебне. Это объясняется более медленным процессом высыхания бетона из-за постепенного перехода влаги из пор вторичного заполнителя в цементный камень. На возможность этого процесса обращают внимание некоторые авторы [8, 9]. Однако этот фактор через 3 суток уже не сказывается на усадке, а через 7-10 суток усадка бетона на вторичном щебне значительно превышает усадку контрольного состава (см. рис. 1). Более высокая усадка бетона на вторичном заполнителе объясняется повышенной деформативностью такого заполнителя [10], а также усадкой цементного камня из рециклируемого бетона [4]. Анализ влияния расхода вторичного щебня показывает, что при его низких дозировках усадка мало отличается от усадки контрольного состава.

В ходе проведенных исследований установлено, что с применением вторичного заполнителя на основе бетонного лома могут быть получены бетоны с прочностью на сжатие 50,6...53,5 МПа, что на 18-22 % ниже прочности бетона на гранитном щебне. Особенностью исследованных бетонов является незначительное снижение прочности на изгиб относительно бетона, изготовленного с применением высококачественного заполнителя. При уменьшении дозировки вторичного заполнителя усадочные деформации возрастают незначительно.

Литература

1. Лунев Г.Г., Прохоцкий Ю.М. Рециклинг вторичных строительных ресурсов. Проблемы и перспективы отрасли на примере г. Москвы // ЭКО. 2020. № 4. С. 166-192.

2. Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е. Исследование состава и физико-механических свойств вторичного щебня из дробленого бетона // Строительные материалы. 2014. № 6. С. 41-45.

3. Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А., Лопатинский В.В. Исследование зависимости зернового состава и марки рециклингового щебня по дробимости от прочности исходного утилизируемого бетона // Вестник НИЦ Строительство. 2021. № 3(30). С. 5-16.

4. Silva R.V., De Brito J., Dhir R.K. Prediction of the shrinkage behavior of recycled aggregate concrete: A review // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 77. pp. 327-339.

5. Коровкин М.О., Шестернин А.И., Ерошкина Н.А. Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090.

6. Егорочкина И.О., Кучеренко Д.Ю., Согомонов В.Х., Кирюхин А.И. Оптимизация параметров работы щековой дробилки для повышения качества заполнителей из дробленого бетона // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4448.

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

8. Иванова Т.А., Колесникова Л.Г. Оценка эффективности применения бетонного лома в качестве крупного заполнителя для бетона // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7530.

9. Roziere E., Bendimerad A.Z., Samouh H., Loukili A. Assessing the relaxation of recycled aggregates concrete from free and restrained shrinkage tests // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 64. 105549.



10. Егорочкина И.О., Серебряная И.А., Сукиасян А.А., Тупчиев А.К. Оптимизация состава модифицированного бетона на основе заполнителей из бетонного лома // Инженерный вестник Дона. 2020. №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2020/6601.

References

1. Lunev G.G., Prokhotskiy Yu. M. ЕКО. 2020. № 4. pp. 166-192.
2. Vaysberg L.A., Kameneva E.E. Stroitel'nye materialy. 2014. № 6. pp. 41-45.
3. Beppaev Z.U, Astvatsaturova L.Kh, Kolodyazhniy S.A, Vernigora S.A., Lopatinskiy V.V. Vestnik NITs Stroitel'stvo. 2021. № 3(30). pp. 5-16.
4. Silva R.V., De Brito J., Dhir R.K. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 77. pp. 327-339.
5. Korovkin M.O., Shesternin A.I., Eroshkina N.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090.
6. Egorochkina I.O., Kucherenko D.Yu., Sogomonov V.Kh., Kiryukhin A.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4448.
7. Arsent'ev V.A., Marmandyan V.Z., Dobromyslov D.D. Stroitel'nye materialy. 2006. № 8. S. 64-66.
8. Ivanova T.A., Kolesnikova L. G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7530.
9. Roziere E., Bendimerad A.Z., Samouh H., Loukili A. Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 64. 105549.
10. Egorochkina I.O., Serebryanaya I.A., Sukiasyan A.A., Tupchiev A.K. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2020/6601.

Дата поступления: 17.04.2024

Дата публикации: 30.05.2024
