

УДК 691.3

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОГО БЕТОНА

К.А. Ковальчук, Н.С. Гуриненко

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
e-mail: kovalchuk.k.a@yandex.by, ngurinenko@gmail.com

В статье рассмотрен вопрос использования вторичного заполнителя, который получен путем дробления бетона, в качестве замены природного крупного заполнителя. Приведены результаты ряда испытаний, которые относятся как к свойствам вторичного крупного заполнителя, так и бетонных смесей и бетона, которые были получены на их основе.

Ключевые слова: вторичный заполнитель, бетонный лом, бетон, прочность.

THE USE OF SECONDARY AGGREGATE FOR THE MANUFACTURE OF STRUCTURAL CONCRETE

K. Kovalchuk, N. Gurinenko

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus
e-mail: kovalchuk.k.a@yandex.by, ngurinenko@gmail.com

The article considers the issue of using a secondary aggregate, which is obtained by crushing concrete, as a substitute for natural coarse aggregate. The results of a number of tests are presented, which relate both to the properties of the secondary coarse aggregate, and concrete mixtures and concrete that were obtained on their basis.

Keywords: secondary aggregate, concrete scrap, concrete, strength.

Бетон – это один из наиболее распространенных строительных материалов. Его продолжают развивать и приспособлять к вызовам современного строительства. На современном этапе от строительной промышленности требуют не только энергоэффективности, экономической целесообразности, но и экологичности. Строительные конструкции имеют хоть и продолжительный, но все же ограниченный срок эксплуатации. Демонтируемые строительные конструкции (мостовые балки, плиты временных дорог и др.) скапливаются в виде бетонного лома, который можно использовать в качестве исходного сырья для получения вторичных (рециклированных) заполнителей. Подобный шаг помогает уменьшить ущерб, который наносится окружающей среде при добыче природных заполнителей. Также следует учесть, что при изготовлении бетонов низких классов по прочности использование щебня из плотных горных пород экономически невыгодно. Такие горные породы, как, например, гранит, можно использовать для получения облицовочных плит, бортового камня, декоративных элементов и других изделий, чем просто заполнитель для бетона.

В СССР проблема переработки бетонного лома сформировалась в конце 1970-х гг. Расчеты тех лет показывали, что утилизация имеющихся отходов позволила бы вовлечь в хозяйственный оборот около 40 млн тонн бетонного лома и около 1,2 млн тонн металла. В 1976 г. была создана Европейской Ассоциации по сносу зданий (European Demolition Association – EDA),

которая объединила более 50 фирм из 17 стран. Многие страны Европы, например, Дания, Нидерланды, Швеция, где переработка строительных отходов превышает 90%, имеют законодательство, при котором вывоз отходов на полигоны либо невыгоден, либо вообще запрещен, и переработка становится не только экологически выгодной, но и экономически эффективной [1].

Следует понимать, что качество вторичного заполнителя зависит от нескольких факторов. К этим факторам относятся способ демонтажа зданий и сооружений, типы дробильных установок, на которых перерабатывается некондиционный бетон, сортировка материала перед дроблением. Исходный материал для получения вторичного заполнителя может существенно отличаться в зависимости от источника его получения. К примеру, бетонный лом из отходов производства содержит цементный камень, который почти не подвержен карбонизации и химической коррозии, а также сравнительно малую степень гидратации. В сырье со свалок и промышленных полигонов могут содержаться вещества, которые негативно влияют на твердение и иные свойства бетонных смесей и получаемых из них бетонов. Отходы, полученные при сносе зданий и сооружений, зачастую содержат примеси других строительных материалов. Все это также влияет на итоговую себестоимость получаемого материала.

При работе с заполнителями из бетонного лома необходимо учитывать их существенное отличие от природных заполнителей. Во время дробления разрушение происходит либо по цементному камню, либо по границе цементного камня и крупного заполнителя. В следствии этого на поверхности зерен такого заполнителя присутствует растворная часть. Это оказывает влияние на его свойства (сравнительно высокие пористость и водопоглощение и меньшая плотность относительно природных заполнителей). Игнорировать эти особенности вторичного заполнителя невозможно и учитывать их следует уже на этапе проектирования бетонной смеси. К примеру, нельзя заменять природный заполнитель на вторичный в соотношении один к одному, т.к. из-за разности плотностей они не будут равны друг другу по объему. Также разными по величине будут пустотность и удельная поверхность заполнителей. Это влечет за собой корректировку расхода цемента для бетонной смеси в следствии того, что разный расход цементного теста потребуется на заполнение межзерновых пустот и обмазку зерен заполнителя. Более высокое водопоглощение заполнителей из дробленого бетона повышает водопотребность бетонной смеси, что влечет за собой изменение свойств смеси и бетона.

Для определения возможности использования продуктов переработки бетона в качестве вторичного заполнителя для бетона был выполнен ряд экспериментов по оценке физико-механических характеристик как вторичного заполнителя, так и полученного на его основе тяжелого бетона. В качестве исходного сырья для получения вторичных заполнителей использовались образцы бетона, которые получали на испытания в НИИЛ «Бетонов и строительных материалов». При использовании технологического оборудования образцы измельчались до состояния щебеночно-песчаной смеси с последующим ее рассевом на песчаную фракцию и фракцию щебня 5-20 мм. Оценка влияния вторичного заполнителя на свойства бетонной смеси и получаемой из нее бетона проводилась методом сравнения тех же свойств у бетонной смеси и бетона, полученных с использованием природных заполнителей.

В качестве вяжущего в исследовании использовался портландцемент ЦЕМ I 42.5Н производства ОАО «Кричевцементношифер». В качестве природных заполнителей использовались гранитный щебень фракции 5-20 мм производства РУПП «Гранит» и кварцевый песок. Для увеличения подвижности бетонных смесей использовался гиперпластификатор «Стахемент

2000М». При проведении экспериментов были определены физико-механические характеристики вторичного и природного заполнителей:

- истинная плотность, насыпная плотность, зерновой состав, водопоглощение и дробимость – по ГОСТ 8269.0-97 [2];
- средняя плотность и подвижность бетонных смесей – по ГОСТ 1545-2005 [3];
- средняя плотность бетона – по ГОСТ 12730.1-2020 [4];
- прочность бетона на сжатие – по ГОСТ 10180-2012 [5].

Вторичный заполнитель получали из двух серий образцов. В дальнейшем они будут обозначаться «Серия 1» и «Серия 2». Характеристики применяемого крупного заполнителя приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Физико-механические характеристики применяемого заполнителя

| Наименование характеристики | Вторичный заполнитель | | Гранитный щебень |
|---|-----------------------|---------|------------------|
| | Серия 1 | Серия 2 | |
| Насыпная плотность, кг/м ³ | 1300 | 1360 | 1580 |
| Плотность в виброуплотненном состоянии, кг/м ³ | 1500 | 1580 | 1840 |
| Истинная плотность, кг/м ³ | 2450 | 2440 | 2710 |
| Дробимость, % | 13,98 | 12,61 | 10,37 |
| Водопоглощение (за 1 ч.), % | 4,37 | 4,12 | 1,16 |
| Водопоглощение (за 48 ч.), % | 5,24 | 4,43 | 1,23 |

Из данных таблицы видно, что вторичные заполнители характеризуются меньшей насыпной и истинной плотностью, а также плотностью в виброуплотненном состоянии относительно гранитного щебня: насыпная плотность ниже на 13,9-17,7 %; плотность в виброуплотненном состоянии ниже на 14,1-18,5 %; истинная плотность ниже на 9,6-10 %. Также стоит отметить и более высокое водопоглощение.

Зерновой состав вторичного заполнителя представлен в таблице 2. Исходя из данных таблицы можно отметить, что зерновой состав вторичного крупного заполнителя удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267-93 [6] и пригоден для применения в качестве крупного заполнителя для бетона.

Таблица 2. – Зерновой состав вторичного заполнителя

| Размер контрольного сита, мм | Остаток на сите для вторичного заполнителя, % по массе | |
|------------------------------|--|---------|
| | Серия 1 | Серия 2 |
| 1,25 D | 0,13 | 0,27 |
| | 0,13 | 0,27 |
| D | 2,42 | 3,93 |
| | 2,55 | 4,20 |
| 0,5 (d+D) | 53,27 | 50,58 |
| | 55,82 | 54,78 |
| D | 44,18 | 45,22 |
| | 100,00 | 100,00 |

Примечание – Над чертой указаны частные остатки, под чертой – полные остатки на ситах

Таблица 3. – Физико-механические характеристики бетонных смесей и бетона на их основе

| Крупный заполнитель | Осадка конуса, см | Плотность смеси, кг/м ³ | В/Ц | Средняя плотность серии образцов, кг/м ³ | Прочность серии образцов после ТВО, МПа |
|---------------------|-------------------|------------------------------------|------|---|---|
| Гранитный щебень | 8,5 | 2382 | 0,34 | 2526 | 63,9 |
| Серия 1 | 6,5 | 2263 | 0,38 | 2407 | 53,4 |
| Серия 2 | 12,0 | 2300 | 0,38 | 2441 | 51,3 |

В таблице 3 приведены результаты испытаний бетонных смесей и затвердевшего бетона на основе природного и вторичного крупного заполнителя. Для приготовления бетонной смеси использовались составы с идентичным содержанием цемента, песка и добавки-пластификатора. Корректировалось только содержание крупного заполнителя (в следствии разности плотностей) и содержание воды затворения. Из таблицы видно, что применение вторичного крупного заполнителя вместо гранитного щебня привело к снижению средней плотности как бетонной смеси, так и бетона. Уменьшение средней плотности смеси составило 3,5-5,0 %. Уменьшение средней плотности бетона составило 3,4-4,7 %. Прочность бетона на основе вторичного крупного заполнителя также уменьшилась. В образцах, которые были испытаны после ТВО, падение прочности составило 16,4-19,7 %.

Параллельно проводилось испытание смесей с большей подвижностью. В качестве вяжущего использовался портландцемент ЦЕМ I 42.5Н производства ОАО «Кричевцементношифер», гранитный щебень фракции 5-20 мм производства РУПП «Гранит», кварцевый песок и гиперпластификатор «Стахемент 2000М». У бетонных смесей, как и в предыдущем этапе, измерялись осадка конуса и плотность. Заформованные образцы прогревались в тепловой камере и на следующий день распалубивались и испытывались на прочность. Физико-механические характеристики вторичного заполнителя и результаты испытаний приведены в таблицах 4 и 5 соответственно.

Таблица 4. – Физико-механические характеристики вторичного заполнителя

| | |
|---|-------|
| Насыпная плотность, кг/м ³ | 1370 |
| Плотность в виброуплотненном состоянии, кг/м ³ | 1630 |
| Истинная плотность, кг/м ³ | 2450 |
| Дробимость, % | 13,07 |
| Водопоглощение (за 1 ч.), % | 4,37 |
| Водопоглощение (за 48 ч.), % | 4,62 |

Таблица 5. – Физико-механические характеристики бетонных смесей и бетона на их основе

| Крупный заполнитель | Осадка конуса, см | Плотность смеси, кг/м ³ | В/Ц | Средняя плотность серии образцов, кг/м ³ | Прочность серии образцов после ТВО, МПа |
|---------------------|-------------------|------------------------------------|------|---|---|
| Гранитный щебень | 22,5 | 2418 | 0,34 | 2560 | 41,1 |
| Вторичный щебень | 21,0 | 2305 | 0,38 | 2467 | 40,8 |

Анализируя данные таблицы 5 можно сделать следующие выводы. На равноподвижных смесях уменьшение средней плотности смеси составило 4,7 %. Уменьшение средней плотности бетона составило 3,6 %. Падение прочности составило 0,7 %.

В дальнейших экспериментах планируется полностью заменить природные заполнители на вторичные, применение отходов дробления бетона в качестве тонкодисперсных добавок для бетонов, а также определение других свойств затвердевшего бетона с применением вторичных материалов.

В завершении хочется подчеркнуть, что использование вторичных заполнителей в бетоне представляет собой важное направление в развитии строительной индустрии. Исследование технологий переработки бетона и использование продуктов этой переработки является важным шагом для строительной промышленности. Это оказывает положительное влияние на окружающую среду и способствует снижению экономических затрат при производстве бетона. Однако, несмотря на положительные аспекты, применение вторичных заполнителей требует дальнейших исследований и практической интеграции. Каждый строительный проект имеет свои уникальные требования и определение оптимальных условий для использования вторичных заполнителей требует внимательного анализа и адаптации. Только благодаря совместным усилиям исследователей, инженеров, строителей и законодателей можно добиться успеха в создании благоприятного будущего для строительной индустрии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Опыт использования отходов дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий / А.А. Кальгин [и др.] // Строительные материалы. – 2010. – № 6. – С. 32–33.
2. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний : ГОСТ 8269.0-97. – Введ. 01.01.1999 (с отменой на территории РБ ГОСТ 3344-83, ГОСТ 7392-85, ГОСТ 8269-87). – Минск : Минстройархитектуры, 1999. – 60 с.
3. Смеси бетонные. Методы испытаний : СТБ 1545-2005. – Введ. 01.07.2005 (с отменой на территории РБ ГОСТ 10181.0-81, ГОСТ 10181.4-81). – Минск : Минстройархитектуры, 2005. – 17 с.
4. Бетоны. Методы определения плотности : ГОСТ 12730.1-2020. – Введ. 01.01.2022 (с отменой на территории РБ ГОСТ 12730.1-78). – Минск : Госстандарт, 2021. – 8 с.
5. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам : ГОСТ 10180-2012. – Введ. 01.02.2016 (с отменой на территории РБ ГОСТ 10180-90). – Минск : Госстандарт, 2015. – 29 с.
6. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия : ГОСТ 8267-93. – Введ. 01.01.1995 (с отменой на территории РБ ГОСТ 8267-82, ГОСТ 10260-82, ГОСТ 23254-78, ГОСТ 26873-86, ГОСТ 8268-82). – Минск : Минсктиппроект, 1995. – 15 с.