

Исследование структуры контактной зоны в бетонах с комбинированными заполнителями

И.О. Егорочкина, И.А. Серебряная, А.А. Матросов,

Е.А. Шляхова, К.А. Пронина, А.Н. Кузина

Донской государственный технический университет

Аннотация: Авторами представлены результаты исследования структуры модифицированного расширяющей добавкой бетона на комбинированном заполнителе, представляющим собой природный щебень в смеси с дробленным бетоном. Структура и свойства бетонов на комбинированном заполнителе изучены недостаточно, что ограничивает их применение в строительном производстве. Изучение свойств и закономерностей формирования структуры бетонов одновременно является методом контроля их производства. Установлены закономерности и причины изменения (снижения) показателей качества бетонов с комбинированным заполнителем. Исследование и нормирование свойств бетонов на комбинированных заполнителях позволит использовать их наряду с традиционными конструкционными бетонами. Статья опубликована в рамках реализации программы Международного Форума «Победный май 1945».

Ключевые слова: рециклинг, комбинированный заполнитель, контактная зона, структура, дефекты, долговечность.

Использование комбинированного заполнителя – смеси природных и искусственных, плотных и пористых зерен широко распространено в строительной практике, является эффективным как в техническом, так и экономическом отношении, решает проблемы ресурсосбережения и охраны окружающей среды [1-4]. Бетоны на комбинированных заполнителях, в том числе на основе дробленого бетона и кирпичного боя, по сравнению с традиционными бетонами характеризуются пониженной плотностью и теплопроводностью, более высокими показателями трещиностойкости, морозостойкости, долговечности. Основные свойства комбинированного заполнителя и рекомендации по его использованию представлены в работах [5-9]. Авторы отмечают более высокую водопотребность бетонных смесей на комбинированном заполнителе обусловленную пористостью последнего, повышенную усадку и, как

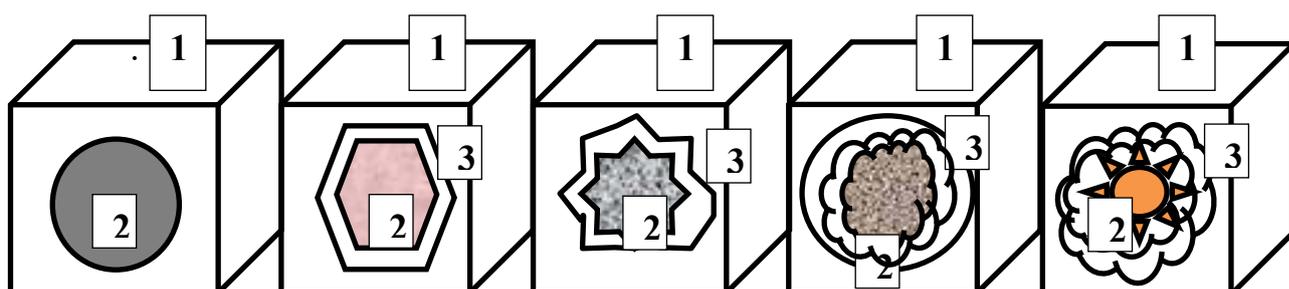
следствие, снижение параметров долговечности конструкций. Радикальным способом снижения и регулирования усадочных деформаций в бетоне является применение расширяющихся цементов. Регулирование усадочных деформаций и напряжений в микро- и макрообъемах структуры для снижения последствий деструктивных процессов является актуальной технологической проблемой. Процессы формирования структуры бетона на комбинированном заполнителе и возможность направленного их регулирования в ходе технологического процесса являются объектом исследования настоящей работы.

При проведении экспериментальных исследований применялись сырьевые материалы, отвечающие действующим нормативным документам. В качестве минерального вяжущего использованы портландцемент ЦЕМ I 42.5 и цемент, модифицированный расширяющей добавкой, состав и технология приготовления которого представлены в работе [4], вводимой в количестве 10 и 20 %, (далее обозначенные как ПЦ, РД-10 и РД-20 соответственно); песок кварцевый с $M_k = 2,0$; комбинированный заполнитель – природный гранитный и известняковый щебень в смеси с дробленным бетоном, технология получения и свойства которого представлены в работах [10,11].

Изготавливались прозрачные и полированные шлифы. Исследование степени гидратации цемента, химико-минералогического состава цементной матрицы контактной зоны, физико-механических свойств заполнителей и контактной зоны проводились с помощью растровой электронной микроскопии, измерения микротвердости, рентгенофазового и дифференциально-термического анализа. Такие методы анализа достаточно давно применяются в самых разнообразных направлениях исследования свойств строительных материалов [12]. Для всех серий

образцов контролировались прочностные характеристики по ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Экспериментальные исследования. Для исследований особенностей формирования контактной зоны с различными заполнителями изготавливались образцы-кубы с ребром 30 мм с единичным зерном заполнителя в центре (рис. 1)



а) б) в) г) д)

Рисунок 1 - Контактная зона в цементных бетонах с заполнителями:

а) металлический шарик; б) гранит; в) известняк; г) керамзит; д) дробленый бетон (кирпич); 1 – цементный камень; 2 – зерно заполнителя; 3- контактная зона.

Исследования с помощью оптических методов позволили установить особенности формирования контактной зоны в модифицированных бетонах с комбинированным заполнителем (рис. 2). Отчетливо видна контактная зона заполнителей с цементно-песчаной матрицей: неровная, расплывчатая, с заходами цементного камня вглубь зерна до 15 мкм (рис. 2 б). На границе контакта с зерном дробленого бетона развивается переходная зона шириной до 100 мкм, где слои контактной зоны становятся близкими по своему строению (рис. 2 в).



а) увеличение X 2 б) увеличение X 20 в) увеличение X 56

Рисунок 2 - Контактная зона заполнителя с цементно-песчаной матрицей

Качество структуры компонентов бетона – цементной матрицы, заполнителей и контактной зоны оценивалось измерением микротвердости и по показателю коэффициента однородности микротвердости. Микротвердость измерялась микротвердомером ПМТ-3 (ЛОМО) в соответствии с инструкцией к прибору. Замеры микротвердости велись от линии контакта с равномерным удалением в сторону цементного камня и заполнителя. На рисунке 3 представлена схема определения ширины контактной зоны в исследуемых образцах и направление измерения микротвердости.

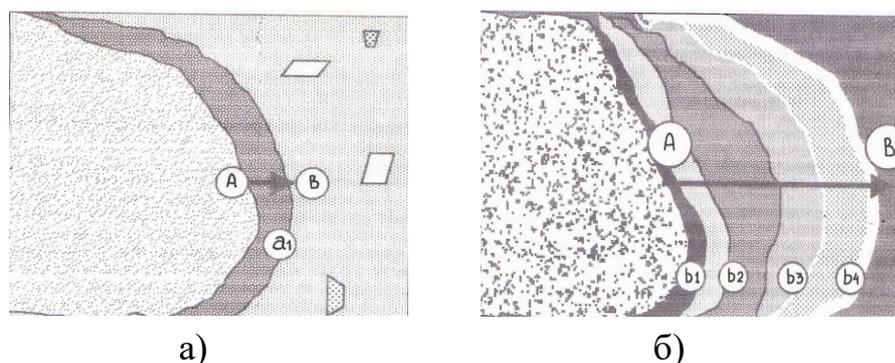


Рисунок 3 - Схема определения ширины контактной зоны (A-B):

- а) $A-B = a_1 = 30-60$ мкм - ширина контактной зоны (A-B) плотного заполнителя (гранит) с цементно-песчаной матрицей;
- б) $A-B = \sum b_n$ - ширина контактной зоны (A-B) низко модульного заполнителя (дробленый бетон) с цементно-песчаной матрицей.

Результаты измерений параметров качества структуры в

модифицированных бетонах на комбинированном заполнителе представлены в табличной форме:

Характеристика	ПЦ	РД-10	РД-20
Средняя микротвердость цементной матрицы, МПа	3322	4015	44,84
Коэффициент вариации микротвердости, %	34,4	18,6	11,8
Средняя микротвердость К.З. с плотным заполнителем, МПа	3466	4112	4308
Коэффициент вариации микротвердости, %	26,2	19,4	15,9
Ширина контактной зоны, мкм	35-60	40-65	80-90
Минимальное расстояние песчинки от зерна заполнителя, мкм	100-120	40-80	40-60
Средняя микротвердость К.З. с пористым заполнителем, МПа	4530	4572	5464
Коэффициент вариации микротвердости, %	19,1	20,3	12,4
Ширина контактной зоны, мкм	135-140	140-165	140-190
Минимальное расстояние песчинки от зерна заполнителя, мкм	75-105	40-80	35-65

Очевидно положительное влияние расширяющих добавок на повышение прочности и однородности структуры контактной зоны в бетонах с комбинированным заполнителем. Установлено повышение микротвердости цементного камня и контактных зон в 1,1-1,4 раза при повышении однородности значений микротвердости в 1,4 -2,2 раза.

Выводы Исследование структуры бетонов с комбинированным заполнителем с применением комплекса оптических и физико-химических методов позволило качественно и количественно оценить критериальные для формирования структуры бетона характеристики: среднее значение и коэффициент вариации микротвердости, равномерность распределения заполнителей в бетоне, характер пористости бетона. В модифицированных бетонах на комбинированных заполнителях формируется однородная более прочная структура контактной зоны.

Литература

1. Гусев, В.А., Загурский, Б.В. Вторичное использование бетона. – М.: Стройиздат. – 1986. – 158 с.
2. Пуляев, С.М. Бетоны на заполнителях из бетонного лома для сборных железобетонных изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. - Москва, 2005. – 32 с.
3. 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/magazine/archive/n3y2015/3090
4. Mirjana Malešev, Vlastimir Radonjanin and Snežana Marinković. Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production //Sustainability, 2010, № 2, pp. 1204-1225. DOI:10.3390/su2051204
5. Ефремова, И.А. Бетоны с комбинированным заполнителем на основе портландцемента с расширяющими добавками: автореф. дис. ... канд. техн. наук:05.23.05. -Ростов-н/Д, 1997. – 18 с.
6. Егорочкина, И.О. Структура и свойства бетонов с компенсированной усадкой на вторичных заполнителях: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. -Ростов-н/Д, 1998. – 23 с.
7. Муртазаев, С-А. Ю., Саламанова, М.Ш., Гишлакаева, М.И. Формирование структуры и свойств бетонов на заполнителе из бетонного лома // Бетон и железобетон, 2008, № 5. С. 25-28
8. Sherif Yehia, Kareem Helal, Anaam Abusharkh, Amani Zaher, and Hiba Istaitiyeh. Strength and Durability Evaluation of Recycled Aggregate Concrete / International Journal of Concrete Structures and Materials. - Vol.9, No.2, pp.219–239. DOI 10.1007/s40069-015-0100-0
9. Kwan, W. H., Ramli, M., Kam, K. J., & Sulieman, M. Z. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability

properties. *Construction and Building Materials*, 2012. - No 26 (1), pp. 565–573. DOI 10.1155/2013/842929

10. Егорочкина, И.О. Рекомендации по подбору состава бетонов на вторичных заполнителях с разномодульными включениями // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2014, № 3. С. 49-54
11. 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/n4y2012/4448
12. Шляхова, Е.А., Акопян, А.Ф., Акопян, В.Ф. Применение метода рентгенофазового анализа для изучения свойств модифицированного шлакощелочного вяжущего // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4. (часть 2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1395

Reference

1. Gusev, V.A., Zagurskyj, B.V. *Recycled concretes*. 1986. 158 p.
2. Pulyaev, S.M. *Betony na zapolnitelyakh iz betonnoho loma dlya sbornykh zhelezobetonnykh konstruktsy [Concretes on reused aggregates for reinforced concretes]: dis. ... kand. teh. nauk: 05.23.05. Moscow, 1998. 32 p.*
3. Korovkin, M.O., Shesterin, A.I., Eroshkina, N.A. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2015, № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3090
4. Mirjana Malešev, Vlastimir Radonjanin and Snežana Marinković. *Sustainability*, 2010, № 2, pp. 1204-1225. DOI:10.3390/su2051204
5. Efremova, I. A. *Betony s kombinirovannym zapolnitelem na osnove portlandcementsa s rasshiryayushhimi dobavkami. [Concrete with combined*

- aggregates on the portland cement with expanding additives]: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.23.05. Rostov-on-Don, 1997. 18 p.
6. Egorochkina, I.O. Struktura i svoystva betonov s kompensirovannoj usadkoj na vtorichnyx zapolnitelyax. [Structure and properties of concretes with compensated shrinkage on a reused aggregates]: dis. ... kand. teh. nauk: 05.23.05. Rostov-on-Don, 1998. 26 p.
 7. Murtazaev, S.A.-Yu, Salamanova, M.Sh, Gishlakaeva, M.I. Beton i zhelezobeton, 2008, № 5, pp. 25-28.
 8. Sh. Yehia, K. Helal, A. Abusharkh, A. Zaher International Journal of Concrete Structures and Materials (Rus), 2015, № 2, pp. 219-239. DOI: 10.1007/s40069-015-0100-0.
 9. Kwan, W. H., Ramli, M., Kam, K. J., & Sulieman, M. Z. Construction and Building Materials, 2012. № 26 (1), pp. 565-573. DOI: 10.1155/2013/842929
 10. Egorochkina, I. O. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura, 2014, № 3, pp. 49-53.
 11. Kurochka, P.N., Mirzaliev, R.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4 (part 2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/4448
 12. Shlyakhova, E. A., Akopyan, A. F., Akopyan, A. V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4 (part 2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1395.