DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-39-43

*Толстой А.Д. *, кандидат технических наук, доцент,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия*
*Ответственный автор E-mail: tad56@mail.ru

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

Аннотация: в статье рассматриваются возможности повышения прочностных характеристик мелкозернистых бетонов. Модифицирование составов и технологии производства мелкозернистых бетонов повышенной прочности возможно с применением природных и техногенных сырьевых материалов различного химического и минерального состава. Показана возможность повышения экономической целесообразности высокопрочных мелкозернистых бетонов с сохранением эксплуатационных характеристик за счет применения техногенных сырьевых материалов и отходов производства. Рассмотрены вопросы управления процессами формирования структуры и выявления потенциально стабильного состояния твердеющих композиций возможно на основе модификации и методов проектирования состава строительных объектов с улучшенными свойствами.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, высокопрочный бетон, минеральное и техногенное сырье, композиционное вяжущее, добавки, гиперпластификаторы

Введение

Мелкозернистый бетон повышенной прочности в настоящее время становится все более востребованным материалом во многих отраслях стройиндустрии. Отличие этого композита от традиционного бетона заключается в увеличении содержания цементной матрицы, уменьшении зерен заполнителя, расширении гаммы компонентов состава и увеличении удельной поверхности всех компонентов, что приводит к повышению зависимости прочности конгломерата от характеристик заполнителей и водопотребности смеси.

В результате комплекса исследований разработан мелкозернистый бетон повышенной прочности класса В60-80 [1-2]. Практическим экспериментам предшествовали поисковые исследования и анализ возможностей упрочнения структуры и повышения строительно-технических свойств, а также теоретического обоснования структурообразующих процессов, протекающих в мелкозернистом бетоне, и роли каждого компонента рабочей смеси, а также технологических способов, влияющих на структуру и качество получаемого композита.

Развитие технологии современного бетона положительные результаты ускоряет трансдисциплинарный принцип, многокомпонентность состава с подобными свойствами сырья (число компонентов может составлять 5-7). Важным фактором в повышении однородности структуры композита является применение композиционных вяжущих веществ с техногенными исходными материалами, например, отсев дробления кварцитопесчаника, как в качестве мелкого заполнителя, так и в качестве порошкообразного компонента вяжущего, что значительно снижает себестоимость без ухудшения качества бетона.

В настоящее время высокопрочные и долговечные композиционные строительные материалы находят все более широкое применение для совершенствования архитектурного облика зданий и сооружений. При этом, бетоны повышенной прочности все шире применяются для монолитного строительства и отделочных работ. Для их изготовления используют комплексные органоминеральные добавки в сочетании с техногенным сырьем. Для достижения водоредуцирующего эффекта применяют суперпластификаторы и гиперпластификаторы, что позволяет достичь высоких результатов в технике и технологии производства бетонных изделий высокой прочности и долговечности [3, 4].

Одним из сдерживающих факторов развития высокопрочных бетонов является стоимость из производства, связанная с большим количеством компонентов смеси и иногда превышает стоимость традиционных бетонов в несколько раз. Поэтому, исходя из потребностей конкретных регионов, очень важны поисковые исследования новых видов сырьевых материалов, в том числе, и техногенных, для получения эффективных высокопрочных композиционных материалов, которые при сохранении высоких строительно-технических свойств, позволят обеспечить строительство доступными и экономичными строительными материалами [5, 6].

Методы и материалы

Возможность влияния с помощью комплексного порошкообразного органоминерального модификатора на процессы, протекающие в твердеющих многокомпонентных системах с техногенными минеральными компонентами, определяется, прежде всего, многокомпонентностью, полиминеральностью и высокой

удельной поверхности частиц исходных материалов. При этом, в процессе синтеза кристаллогидратов, образующих структуру материала, диффузионные явления и пересыщение жидкой фазы твердеющей системы приобретают значений регулирующей функции. Присутствие в смеси микрокремнезема и карбонатной добавки, реагирующей с алюминатными фазами портландцемента приводит к образованию гидрокаталюминатов кальция и увеличивает скорость набора прочности цементным камнем, а также повышает конечную прочность материала. Со временем в сформировавшейся ранее структуре гидратационные процессы приводят к формированию новообразований иного типа, но которые имеют подобные кристаллографические характеристики на пико-, нано- и микроуровнях, и представлены высокоосновными гидросиликатами кальция. Интенсивность этих процессов зависит от генетических особенностей исходной горной породы, что обуславливает все перекристаллизационные процессы в ранее сформированных фазах, приводящие к уплотнению твердеющей системы, обеспечивающие высокие значения основных строительно-технических показателей материала. Объяснение этому лежит в сфере приложения трансдисциплинарных принципов исследования природоподобных механизмов гидратации в полученных смесях, которые позволяют управлять структурообразованием и получать структуру композита с заданными свойствами и долговечностью.

Для оптимизации свойств высокоэффективных строительных материалов в смесь часто вводят сухие комплексные добавки. Их предварительно готовят, т.е. переводят в рабочее состояние смешиванием с определенным количеством воды до получения эмульсии или пасты. Дозирование органо-минеральных добавок зависит от многих факторов, среди которых вид вяжущего, состав исходной смеси и технологические методы производства, и может составлять (масс.%): пластификаторов – 0,1-0,3; воздухововлекающих – 0,01-0,05; ускорителей твердения – 1-2. Оптимальное количество добавки определяется практически, через экспериментальную проверку.

Снижение энергетических и материальных затрат при производстве модифицированных строительных композитов и комплексных вяжущих актуально, что обуславливает активизацию исследований структурообразующих процессов в данных системах, по подбору оптимального соотношения исходных компонентов, знание их деформативных и энергетических характеристик, применение в широких масштабах техногенных материалов и отходов различных производств.

Рабочей гипотезой исследований является положение о возможности регулирования строительно-технических свойств высокопрочных композитов (предел прочности от класса В60, морозостойкость F300-350, водонепроницаемость от W12, истираемость до 4·10⁻⁸ кг/м) методом оптимизации структуры и контактной зоны композита благодаря применению порошковых минеральных модификаторов, состоящих из исходных веществ с подобными (сопоставимыми) свойствами. Осуществить это возможно использованием эффективных методов управления процессами формирования структуры твердеющей цементосодержащей системы.

Для решения поставленной цели были использованы силикатсодержащие компоненты: микрокремнезем, тонкомолотый кварцитопесчаник, отходы мокрой магнитной сепарации (ОММС), а также глиноземсодержащий и карбонатсодержащий компонентов из вскрышных и попутноизвлекаемых горных пород Курской магнитной сепарации (КМА). Для снижения водопотребности смеси при сохранении удобоукладываемости применяли гиперпластификаторы (ГП) Melflux F2651. Ускорение и активацию гидратационных процессов обеспечивали введением в состав техногенных компонентов, содержащих смеси тонкомолотого кварца и муллитоподобных алюмосиликатов кальция, играющих роль готовых центров кристаллизации при образовании кристаллических новообразований. Механо-химическую активацию сырья перед применением осуществляли помолом в вибрационной мельнице до $Sud = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$. При этом основа композиционного вяжущего – рядовой портландцемент имел заводскую тонкость помола, равную $280 \text{ м}^2/\text{м}$, остальные компоненты составляли порошковый минеральный модификатор (ПММ), который добавляли в количестве 24%. Гиперпластификатор вводили на стадии смешивания с цементом. Опытные образцы готовили из смеси, с повышенной реологической активностью и текучестью, что дает возможность обеспечить самоформируемость изделий по безопалубочной технологии, а также конструкций повышенной площади (наливных полов, игровых площадок и т.д.).

В результате экспериментальных исследований определено оптимальное содержание всех компонентов, включая строительный композит и порошковый минеральный модификатор (ПММ), что обеспечило необходимые строительно-технические свойства (рис. 1).

Рис. 1. Компоненты мелкозернистого бетона повышенной прочности

Fig. 1. High Strength Fine Concrete Components

Таким образом, при оптимизации структуры твердеющей системы, заключающейся в уменьшении пористости вследствие наиболее полного взаимодействия компонентов полиминеральной смеси в начальный период, за счет искусственной контракции и исключения пластических деформаций, в которой, в последствие, при достижении максимальной плотности смеси, образуется значительное количество связующего цементного геля, скрепляющего структуру композита. По завершении основной фазы структурообразования, когда вяжущей матрицей была достигнута максимальная плотность, дополнительное уплотнение обеспечивалось зерновым составом заполнителя за счет контракции его дисперсных частиц.

Результаты и обсуждения

Равновесное энергетическое взаимодействие на всех структурных уровнях приводит, в конечном итоге, к высокой плотности материала ($2050-2170 \text{ кг/м}^3$), ускорению твердения и конечной прочности $55-65 \text{ МПа}$ (табл. 1).

Таблица 1

Взаимосвязь состава и свойств мелкозернистого бетона повышенной прочности

Table 1

Relationship of Composition and Properties of Fine-Grained Concrete of Increased Strength

Компоненты состава, кг/м^3						ОК, см	В/Ц	$\rho_{\text{ср}}$, кг/м^3	$R_{\text{сж}}$, МПа
Цемент	ГП	Песок	Щебень	ПММ	Вода				
660	6,5	550	870	83,0	171,6	16	0,26	2170	64,5
	6,4	530	850	85,4	178,2	17	0,27	2132	60,8
	6,2	510	800	87,6	184,8	18	0,28	2064	56,1

Эксплуатационные характеристики опытных образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Эксплуатационные характеристики мелкозернистого бетона повышенной прочности

Table 2

Performance Characteristics of Fine-Grained Concrete of High Strength

№ п/п	Свойства	Величина показателя
1	Средняя плотность, кг/м^3	2150
2	Пористость, %	4,3
3	Предел прочности при сжатии, МПа	60,3
4	Предел прочности при изгибе, МПа	5,7
5	Модуль упругости, МПа	36
6	Усадка, мм/м	0,37
7	Водопоглощение, %	1,3
8	Марка по морозостойкости, F	250

Figure 1 consists of four SEM images labeled a, b, c, and d. Each image shows the surface morphology of a sample. Image (a) shows a relatively smooth surface with some small, dark, irregular features. Image (b) shows a more textured surface with larger, irregular features. Image (c) shows a highly textured, porous surface with many small, rounded features. Image (d) shows a surface with a prominent diagonal feature, possibly a crack or a fold, and a highly textured, porous surface. Each image has a scale bar and technical data at the bottom.

Technical data for each image:

- (a) SEM MAG: 500 x, View field: 555 μm , SEM HV: 10.0 kV, Det: SE, SEM-RESOLUTION, MIRA3 LMU, MIRA3 TESCAN, БГТУ им. В.Г. Шухоме
- (b) SEM MAG: 1.00 kx, View field: 277 μm , SEM HV: 10.0 kV, Det: SE, SEM-RESOLUTION, MIRA3 LMU, MIRA3 TESCAN, БГТУ им. В.Г. Шухоме
- (c) SEM MAG: 5.00 kx, View field: 85.5 μm , SEM HV: 10.0 kV, Det: SE, SEM-RESOLUTION, MIRA3 LMU, MIRA3 TESCAN, БГТУ им. В.Г. Шухоме
- (d) SEM MAG: 5.00 kx, View field: 55.5 μm , SEM HV: 10.0 kV, Det: SE, SEM-RESOLUTION, MIRA3 LMU, MIRA3 TESCAN, БГТУ им. В.Г. Шухоме

Fig. 2. Micrographs of Modified Composite Binder Structure (a, b) and Fine Concrete with Quartzite Sand Aggregate (c, d) (Increase from 500 to 5000)

Модифицирование структуры мелкозернистого бетона повышенной прочностью широко применяется в современном материаловедении. С нашей точки зрения применение метода модифицирования с помощью порошковых минеральных модификаторов обогатит теорию и практику производства бетонов нового поколения, поможет изменить представление об этом композите, как о дорогостоящем и недолговечном материале и определит перспективы развития бетоноведения.

Применение модифицированных мелкозернистых бетонов повышенной прочности для различных целей строительства с применением техногенного сырья позволит значительно снизить материальные и энергетические затраты на производство, оздоровит экологическую обстановку, а также позволит получить более совершенные изделия оптимальной структуры и высокими конструкционными свойствами.

Литература

1. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Органоминеральные высокопрочные декоративные композиции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №5. С. 67 – 69.
2. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. М.: Стройиздат, 1990, 400 с.
3. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высокопрочные бетоны. М.: АСВ. 2007. С. 321 – 328.
4. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. №7-8. С. 96 – 100.
5. De Larrard Francois. Ultrafine Particles for the Making of Very High Strength Concretes // Cem., Concr., and Aggreg. 1990. V. 12. №2. P. 61 – 69.
6. Richard P., Cheurezy M. Composition of Reactive Powder Concrete. Scientific Division Bougies // Cement and Concrete Research. 1995. Vol. 25. N7. P. 1501 – 1511.

References

1. Tolstoj A.D., Lesovik V.S., Kovaleva I.A. Organomineral'nye vysokoprochnye dekorativnye kompozicii. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2014. 5. P. 67 – 69. (rus.)
2. Batrakov V. G. Modificirovannye betony. M.: Strojizdat, 1990, 400 p. (rus.)
3. Bazhenov YU.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. Modificirovannye vysokoprochnye betony. M.: ASV. 2007. P. 321 – 328. (rus.)
4. Lesovik V.S. Geneticheskie osnovy energosberezheniya v promyshlennosti stroitel'nyh materi- alov. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 1994. 7-8. P. 96 – 100. (rus.)
5. De Larrard Francois. Ultrafine Particles for the Making of Very High Strength Concretes. Cem., Concr., and Aggreg. 1990. 12 (2). P. 61 – 69.
6. Richard P., Cheurezy M. Composition of Reactive Powder Concrete. Scientific Division Bougies. Cement and Concrete Research. 1995. 25 (7). P. 1501 – 1511.

*Tolstoy A.D. *, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia*

**Corresponding author E-mail: tad56@mail.ru*

FINE-GRAINED HIGH-STRENGTH CONCRETE

Abstract: the article discusses the possibilities of improving the strength characteristics of fine-grained concrete. Modification of compositions and production technology of fine-grained high-strength concrete is possible with the use of natural and man-made raw materials of various chemical and mineral composition. It is shown that it is possible to increase the economic feasibility of high-strength fine-grained concretes with the preservation of performance characteristics due to the use of man-made raw materials and production waste. The issues of controlling the processes of structure formation and identifying a potentially stable state of hardening compositions are considered, possibly on the basis of modification and design methods for the composition of construction objects with improved properties.

Keywords: fine-grained concrete, high-strength concrete, mineral and industrial raw materials, composite binder, additives, hyperplasticizers

Для цитирования: Толстой А.Д. Мелкозернистый бетон повышенной прочности // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. №1. С. 39 – 43. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-39-43

For citation: Tolstoy A.D. Fine-grained high-strength concrete. Construction Materials and Products. 2020. 3 (1). P. 39 – 43. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-39-43

Поступила в редакцию 18 ноября 2019 г.

Принята в доработанном виде 22 декабря 2019 г.

Одобрена для публикации 18 января 2020 г.

Received: November 18, 2019.

Revised: December 22, 2019.

Accepted: January 18, 2020.