

Толстой А.Д., канд. техн. наук, проф.,
Ковалева И.А., аспирант,
Новиков К.Ю., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ БЕТОНОВ С ТЕХНОГЕННЫМ СЫРЬЕМ

vk.goro@yandex.ru

Прикрепление профессионализма зодчего к проектированию изменило онтологию архитектуры: с XV-го века её язык становится изображением, «склеенным» с формами строительного объекта. Дальнейшее развитие языка видоизменяет онтологические модели, абстрагированные от построечных форм зданий (категория «стиль» в эпоху модерна и категория «пространство» в современной архитектуре).

Ключевые слова: композитная форма, зодчество, графический язык.

В настоящее время деятельность многих специалистов направлена на получение и применение высокопрочных бетонов. В ближайшем будущем планируется замещение обычных бетонов многокомпонентными высокопрочными бетонами. При получении таких бетонов актуальной проблемой является нахождение способов снижения расхода исходных материалов и стоимости проведения технологических работ, а так же эффективное применение промышленных отходов. Применение техногенных продуктов не только экономично, но так же позволяет улучшить эксплуатационные характеристики бетона. Таким образом, приоритетной задачей становится совершенствование состава и свойств порошковых бетонов, которые зависят от свойств компонентов бетонной смеси и водосодержания.

Ключевые слова: высокопрочные бетоны, порошковые бетоны, техногенное сырье.

Введение. Изучение высокопрочных порошковых бетонов, отличающихся от обычного повышенным содержанием цементного камня, меньшей крупностью зерен, многокомпонентностью состава, повышенной удельной поверхностью заполнителя, активно проводится с конца прошлого века. Начиная с 70-х годов, многие исследователи посвятили свои работы исследованию возможности использования для модификации бетона неорганических материалов, содержащих аморфный кремнезем. В этом отношении исследовали эффективность применения измельченных шлаков, золы-унос и других порошковых и пылевидных агрегатов, имеющих высокое содержание аморфного кремнезема [1].

Методология. Любое сырье перед применением в технологическом процессе проходит предварительную подготовку, либо селективный отбор, либо корректировку. Проблема селективного отбора и утилизации промышленных отходов имеет всеобщее значение. Ежегодно во всем мире и в нашей стране многотонные отходы

твердых, жидких и газообразных веществ поступают в атмосферу и земную кору, нанося непоправимый ущерб природе. На пути к промышленной продукции сырье что-то теряет, часть его превращается в отходы. Подсчитано, что на современном уровне развития технологии до 10 % исходного сырья в конечном итоге уходит в отходы. Например, при добыче угля ежегодно на поверхность земли из недр поднимают около 1 млрд. м³ пустой породы и складывают в бесполезные пирамиды – терриконы. При этом впустую растрачиваются не только тысячи гектаров зачастую плодородных земель. Загрязняется атмосфера, терриконы «горят», ветер поднимает с их бесплодных склонов тучи пыли, небо застилает дым сотен тысяч труб от заводов, вода отравляется промышленными стоками, вырубается миллионы деревьев [2].

Если проанализировать итоги развития российской экономики в последние годы, то становится очевидным, что механизм нерационального ресурсопотребления не только не остановлен, но и увеличил обороты, поскольку спад в выпуске продукции опережает сокращение потребления сырья и материалов. Вместе с тем прогресс науки и техники позволяет все более рационально использовать материальные ресурсы. Одним из важнейших направлений ресурсосберегающей деятельности является эффективное использование отходов производства. Среди различных факторов, определяющих их рациональное применение, важную роль играют организационные, в том числе система управления ресурсопотреблением, которой, к сожалению, лишь на немногих заводах уделяется внимание.

Проблема утилизации строительных отходов остро стоит во всем цивилизованном мире. По данным международной организации RILEM, в странах ЕС, США и Японии к 2000 г. ежегодный объем только бетонного лома должен

составить более 360 млн. т. Начиная с 70-х годов во многих странах ведутся широкомасштабные исследования в области переработки бетонных и железобетонных отходов, изучения технико-экономических, социальных и экологических аспектов использования получаемых вторичных продуктов. По сведениям из иностранных источников энергозатраты при добыче природного щебня в 8 раз выше, чем при получении щебня из бетона, а себестоимость бетона, приготавливаемого на вторичном щебне, снижается на 25 %.

В строительной индустрии накоплен значительный положительный опыт использования вторичных продуктов в производстве вяжущих материалов, заполнителей для бетонов разных видов, керамических, автоклавных, теплоизоляционных и других строительных материалов и изделий. В то же время, отходы строительного производства представляют собой вторичное сырье, использование которого после переработки на вторичный щебень и песчано-гравийную смесь может снизить затраты на новое строительство объектов в городе и одновременно позволяет уменьшить нагрузку на городские полигоны, исключить образование несанкционированных свалок.

Существует множество способов управления формированием структуры материалов, что влечет за собой изменение свойств. Воздействие на материал должно быть эффективным и экономным и базироваться на научно обоснованных методах и рекомендациях. Получение изделий с высокими строительно-техническими характеристиками путем регулирования процессов структурообразования, является актуальной научной проблемой.

Для повышения эффективности порошкового бетона существенное значение имеет наиболее полное использование возможностей вяжущих веществ, создание оптимальной структуры искусственного камня в бетоне. Именно такой цели отвечают высокоактивные композиционные вяжущие. Композиционными вяжущими являются продукты механохимической активации в определенных условиях обычного портландцемента или вяжущего другого вида совместно с добавками-модификаторами, имеющими в своем составе компонент или компоненты, обеспечивающие водоредуцирующий эффект.

Высокопрочные модифицированные бетоны – это новый технический уровень стройиндустрии, иногда достигавшийся и у нас, но теперь настоятельно требующий широкого рассмотрения. В зарубежной технической литературе, широко освещается применение таких бе-

тонов в современном строительстве: покрытия дорог, автострад; строительство мостов, тоннелей, высотных зданий, морских нефтяных платформ и др. [3–5].

Порошковый бетон представляет собой продукт механической и химической активности в регламентируемых условиях портландцемента или другого вяжущего с минеральными добавками и химическими модификаторами, содержащими снижающее В/Ц отношение. Основная область применения – ответственные конструкции жилого и промышленного назначения, предполагает решение целого комплекса проблем, связанных с производством заполнителей, вяжущих веществ, химических добавок. Развитие науки показывает, что в ближайшем будущем будет происходить постепенное замещение обычных бетонов многокомпонентными высокопрочными бетонами. Такие бетоны должны отвечать высоким требованиям по прочности, износостойкости, морозостойкости, коррозионной стойкости, истиранию, водопоглощению и др., а также иметь высокую плотность и прочность при малом объеме материала.

Порошковые бетоны содержат природный кварцевый песок, как заполнитель, в то время как вяжущее состоит из цемента, тонкомолотых каменных материалов, тонких фракций песка из отсевов, микрокремнезема, и обязательно органических добавок – суперпластификаторов и гиперпластификаторов. Все шире практикуется применение фибро- и тканearмирования, включая объемные тканые каркасы из стальных или полимерных нитей диаметром 10-30 мкм. В то же время в обычные щебеночные бетоны общего назначения вводят каменную муку из вскрышных и попутноизвлекаемых горных пород. Поэтому карьеры в перспективе могут оснащаться мощностями для производства каменной муки [6, 7].

Основная часть. Актуальной научной проблемой является экономное и эффективное применение минеральных компонентов, необходимых для создания композитов и изделий с требуемыми свойствами путем регулирования образования структуры. Наиболее полное использование возможностей вяжущего, создание оптимальной заданной структуры и требуемых свойств искусственного камня – все это необходимо для улучшения (повышения) эффективности порошкового бетона, в том числе и для декоративных целей [8–10].

С целью получения такого вида вяжущих был проведен ряд испытаний по следующей методике: разрабатывали вяжущие композиции с оптимальным соотношением гидравлического вяжущего (портландцемент или глиноземистый

цемент) и минерального техногенного – более сложного, состоящего из нескольких компонентов (мрамор, кварц, цемянка (отходы керамического производства) и микрокремнезем). Далее все компоненты подлежали домолу до необходимой удельной поверхности $550 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Получение высокопрочных порошковых бетонов нового поколения в данное время сопряжено с применением сложных составов и компонентов с целью получения высококачественных бетонов различного функционального назначения. И выбора оптимального научного решения по утилизации отходов горнорудного производства. Для этого необходимо иметь сведения о характеристике объекта, как сырьевого ресурса (происхождении сырья, состава, наличии) и предполагаемых направлений использования. При этом технологические параметры приготовления бетона и изготовления изделий из него должны соответствовать основным технологическим принципам, установленным на основе анализа производственного опыта предприятий строительной отрасли, а так же использование результатов научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций.

Исследования высокопрочных бетонов показали высокую реакционно-химическую способность тонкомолотых известняков и дегидратированной глины, которые смешивали в количествах, определенных расчетом при изготовлении высокопрочных порошковых бетонов [11–12].

В ближайшем будущем будет расти тенденция к широкому применению высокопрочного порошкового бетона, отличие которого от обычного, заключается в повышенном содержании цементного камня, меньшей крупности зерен, повышенной удельной поверхности заполнителя. Отсюда большая зависимость прочности порошкового бетона от свойств заполнителя.

Формирование структуры бетона – сложный физико-химический процесс, развивающийся во времени. Кинетика структурообразования и превращение бетонной смеси в искусственный конгломерат определяется многими технологическими и физическими факторами. Поэтому прогнозирование параметров конечного состояния бетона, когда в основном завершены процессы структурообразования, всегда представляет собой сложную задачу. В зависимости от технологических и физических факторов изменяется не только кинетика процесса структурообразования, но и конечный результат этого процесса – параметры структуры и физико-механические свойства бетона. Поэтому решение проблемы получения бетона с заданными высокими физико-механическими свойствами

связано, прежде всего, с созданием таких условий, когда процессом структурообразования можно эффективно управлять. В этом состоит главная цель технологии, и для ее достижения необходимо глубоко вникнуть в сущность явлений, происходящих в твердеющем бетоне, установить их роль и значение в формировании структуры бетона, как на микро, так и на макроуровне.

Установлено, что решающее влияние на свойства порошкового бетона оказывает количество и качество вяжущего в нем, а так же качество заполнителя и наполнителя (крупность зерен, гранулометрический состав, качество поверхности, пустотность, прочность).

Расход цемента, его вид и минералогический состав, водоцементное отношение, применение химических добавок – важные технологические факторы, влияющие на процесс структурообразования. Влияние химических добавок, вводимых в состав бетонной смеси, распространяется на все стадии технологической обработки бетонной смеси и структурообразование твердеющего бетона.

В качестве компонентов формовочной бетонной смеси использовали: заполнитель – гранитный щебень фракции 0,315–1,25 мм. В обычных бетонах прочность щебня должна превосходить прочность бетона не менее чем в 2 раза, а в высокопрочных же она должна быть, по крайней мере, не ниже прочности бетона. Прочность используемого щебня при дробимости в цилиндре составила 100 МПа. Песок применяли обычный кварцевый с $M_k = 1,83$. Применялся также микрокремнезем, как компонент композиционного вяжущего, а также высокоалюминатный глиноземистый цемент и тонкоизмельченные отходы горнорудного производства. В качестве суперпластификатора применяли органическую добавку Melflux 2651.

Испытания проводили на опытных образцах размером $40 \times 40 \times 40$ мм, полученных уплотнением формовочной бетонной смеси осадкой конуса 14 см на лабораторной виброплощадке. Образцы выдерживали 28 суток в нормальных условиях ($t = 18 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$, $W = 100 \%$). Испытания прочностных характеристик проводили на гидравлическом прессе, развивающем максимальную нагрузку 10 т.

Максимальные реологические и водоредуцирующие эффекты, обусловленные адсорбцией суперпластификатора на поверхности твердой фазы, генетически свойственные тонкодисперсным системам с высокой поверхностью раздела.

Результаты испытания бетонной смеси и высокопрочного бетона представлены в табл. 1.

Таблица 1

Состав и свойства мелкозернистого бетона

Цемент, кг/м ³	Комплексная добавка из техногенных продуктов, кг/м ³	Гранитный заполнитель, кг/м ³	Кварцевый песок, кг/м ³	Суперпластификатор, Melflux 2651, кг/м ³	Вода, л/м ³	В/Ц	Предел прочности при сжатии R _{сж} , МПа	Призмная прочность R _{пр} , МПа,	Предел прочности при изгибе, R _{из} , МПа
700	–	1850	340	–	320	0,46	41,4	26,4	12,1
				6,25	250	0,36	66,2	54,1	15,6
				6,25			66,5	54,3	15,7
	86	1840	340	–	245	0,35	40,6	21,2	11,9
	80	1400	330	–	153	0,45	44,1	22,5	10,8
	82	1380	320	6,00	190	0,38	49,2	28,5	12,2
	84	1340	310	6,52	216	0,36	53,6	42,2	13,4
	85	1280	300	6,64	221	0,34	65,0	51,4	14,1
86	1240	295	6,40	224	0,32	71,2	57,2	16,0	

Установлено, что образцы порошкового бетона за счет плотной упаковки входящих в него частиц и полноте протекающих реакций имеет предел прочности при сжатии выше 70 МПа. Применение композиционной добавки к вяжущему из техногенных продуктов, позволило не только сократить расход клинкера, но и улучшить эксплуатационные характеристики бетона. Так, при расходе цемента 700 кг/м³ (экономия цемента 100 кг/м³) получена прочность при сжатии 71,2 МПа, т.е. на 7,5 % выше, чем при использовании цемента без добавки и на 44,8 % выше, чем без добавки и суперпластификатора.

Оптимальный состав мелкозернистого бетона получен на заполнителе с высокоплотной упаковкой при расходе вяжущего 700 кг/м³,

комплексной добавки – 86 кг/м³. Точный расход материалов на 1 м³ высокопрочного состава является предметом НОУ-ХАУ.

В данном эксперименте прочность бетона в возрасте 14 суток составила 85 % от прочности в возрасте 28 суток, т.е. скорость набора прочности образцами была значительно выше, чем обычного бетона в нормальных условиях. Характер разрушения бетона позволяет сделать вывод о том, что прочность цементной матрицы примерно такая же, как и прочность гранитного щебня – трещины проходят и по контактной зоне и по зернам щебня. Состав высокопрочного бетона и его строительно-технические характеристики представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Состав бетонной смеси высокопрочного бетона

Состав бетонной смеси, кг/м ³						Подвижность, ОК, см	В/Ц	Средняя плотность, ρ, кг/м ³
Цемент	Суперпластификатор, Melflux 2651, кг	Песок	Щебень	Отход пр-ва	Вода			
650	6,3	700	1000	84,0	182,0	18,0	0,26	2451
	6,5	720	1050	86,4	194,4	19,0	0,27	2467
	6,6	730	1070	87,6	200,8	19,5	0,275	2473

Таким образом, в исследованиях была расширена группа дисперсных наполнителей многокомпонентного вяжущего техногенного происхождения и предложено использовать вторичное сырье керамического производства. Указанные сырьевые ресурсы в результате предшествующего процесса обжига содержат в своем составе муллитоподобные алюмосиликаты кальция или их смесь с дисперсным кварцем, представляющие собой готовые центры кристаллизации при твердении цемента. Высоко-

прочный состав получали модифицированием комплексной органоминеральной добавкой, состоящей из суперпластификатора и тонкомолотого минерального компонента.

В результате проведенных работ получены новые данные по изучению и разработке составов и технологии применения высокопрочных композиций. Главной задачей, которая решалась в этом направлении, – нахождение способов снижения расхода исходных материалов и стоимости проведения технологических работ.

Таблица 3

Физико-технические свойства порошкового бетона

№ п/п	Наименование свойств	Показатели
1	Плотность, кг/м ³	2450
2	Пористость, %	4,5
3	Прочность при сжатии, МПа	75,3
4	Прочность при изгибе, МПа	15
5	Модуль упругости, МПа	46
6	Коэффициент Пуассона	0,25
7	Усадка, мм/м	0,27
8	Водопоглощение, %	1,9
9	Морозостойкость, F	300

Также изучали на пробных составах возможность введение летучей золы, бальтовой, известняковая и кварцевая муки и других компонентов. Полученная высокая прочность обеспечивается в этом случае наличием не только микрокремнезема или дегидратированной глины, но и реакционно-активного порошка из молотой горной породы. Получение высокопрочных порошковых бетонов на техногенном сырье вполне возможно со значительным технико-экономическим эффектом с учетом эффективности гидротермальной обработки и влияния составляющих на увеличение водовыделяющей (водоредуцирующей) способности формовочных смесей.

Выводы. Таким образом, в исследованиях была расширена группа дисперсных наполнителей многокомпонентного вяжущего техногенного происхождения и предложено использовать отходы керамического производства. Указанные отходы в результате предшествующего процесса обжига содержат в своем составе алюмосиликаты кальция или их смеси с дисперсным кварцем, представляющие собой готовые центры кристаллизации при твердении цемента. Высокопрочный состав получали модифицированием комплексной органоминеральной добавкой, состоящей из суперпластификатора и тонкомолотого минерального компонента.

В результате проведенных работ получены новые данные по изучению и разработке составов и технологии применения высокопрочных композиций. Главной задачей, которая решалась в этом направлении, – нахождение способов снижения расхода исходных материалов и стоимости проведения технологических работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высокопрочные бетоны. М.: АСВ. 2007. 368 с.
2. Дворкин Л.И., Пашков И.А. Строительные материалы из отходов промышленности. Учебно-справочное пособие, К.: Вища школа, 2007.
3. Bornemann R., Fenling E. Ultrahochfester Beton-Entwicklung und Verhalten.// Leipziger Massivbauseminar, 2000, Bd. 10, S. 1-15.
4. Schmidt M. Bornemann R. Möglichkeiten und Grenzen von Hochfester Beton // Proc. 14, Ibausil, 2000, Bd. 1/ Pp. 1083-1091.
5. Richard P., Cheurezy M. Composition of Reactive Powder Concrete. Scientific Division Bougies.// Cement and Concrete Research, Vol. 25. No. 7, 1995. Pp. 1501-1511.
6. Schmidt M., Bomeman R. Moglichkeiten und grenzen von Hoch- und Ultra – HochfestemBeton // Proc. 124IBAUSJL. 200.Bd. 1, Pp. 1083–1091.
7. Grube P., Lemmer C., Rühl M. Vom Gussbeton zum Selbstverdichtenden //Beton. Pp. 243–249.
8. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Органогенные высокопрочные композиции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 67-69.
9. Толстой А.Д. Штампованные высокопрочные порошковые декоративные бетоны // Научные технологии и инновации. Сборник докл. Юбилейной междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. Ч.3. Белгород, 2014, С. 334–338.
10. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А., Якимович И.В., Лукутцова Н.П. Высокопрочные материалы для декоративных целей // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С 51–53.
11. Tolstoi A.D., Lesovik V.S., Kovaleva I.A. High-Strength Decorative Complexes with Organo-Mineral Additives Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. September-October 2014 RJPBCS 5(5) Page No 1607.
12. Толстой А.Д., Ковалева И.А., Присяжнюк А.П., Воронов В.В., Баженова О.Г., Якимович И.В., Саридис Я.В. Эффективные порошковые композиции на техногенном сырье // «Современные строительные материалы, технологии и конструкции». Материалы междунар. научно-практ. конф., посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Т. 1, Грозный, 2015, С. 406–411.

Tolstoi A.D., Kovaleva I.A., Novikov K.Yu.**PERFECTION COMPOSITION AND PROPERTIES POWDER CONCRETE WITH TECHNOLOGICAL RAW**

Currently, activities of many scientists focused on the preparation and use of high-strength concrete. In the near future planned replacement of conventional concrete on multi-component high-strength concrete. Upon receipt of such concretes urgent problem is to find ways to reduce the consumption of raw materials and the cost of engineering works, as well as effective use of industrial wastes. Application technological products not only economical but also improve the performance of concrete. Thus, the priority becomes the improvement of composition and properties the powder concrete, which depend on the properties of the components of the concrete mix and the water content.

Key words: *high-strength concrete, powder concrete, technogenic raw materials.*

Толстой Александр Дмитриевич, кандидат технических наук, профессор, кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: Tad56@mail.ru

Ковалева Ирина Александровна, аспирант, кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: airyshka@yandex.ru

Новиков Константин Юрьевич, студент, кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: kot_veuder@mail.ru