

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

doi: 10.51639/2713-0576_2023_3_2_7

УДК 691.5

ГРНТИ 67.09.33

ВАК 05.23.05

Композиционные смеси с использованием природного и техногенного сырья

* Ключев А.В., Ключев С.В., Щекина Н.А., Золотарева С.В., Шаповалова А.В.

БГТУ им. В. Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46

email: * megastaryj@yandex.ru, klyuyev@yandex.ru, escada124@mail.ru,
svet.zolotarewa2012@yandex.ru, asasapov97@mail.ru

В статье рассматриваются технологические особенности процесса производства фибробетонных изделий, влияние разработки вяжущего материала на характеристики фибробетона, требования к формовочной смеси, как в отношении удобоукладываемости, пластичности и срокам схватывания, так и к прочностным показателям конечного продукта. Выделены основные разработки многокомпонентных составов, включая вяжущие с контролем процессов структурообразования на микро- и макроуровне. Рассмотрены также формирования микроструктуры цементного камня с регулируемыми физико-механическими свойствами за счет применения модифицирующих добавок наноразмерного уровня. Представлены различные виды введения органических, химических пластифицирующих и водоредуцирующих добавок и наполнителей. Обоснована необходимость создания материалов с регулируемыми свойствами с применением нового вида сырья.

Ключевые слова: многокомпонентность, удобоукладываемость, синергетический эффект, технический углерод, пуццолановая активность.

Теория и методы исследования

Энерго- и ресурсосбережение определяют инновационный путь развития современного строительного материаловедения, где в числе основных задач лежит комплексное использование природного сырья, вторичных ресурсов и отходов различных отраслей промышленности.

На фоне ограниченности качественных местных сырьевых материалов и антропогенного прессинга на экосферу, постоянно повышаются требования и растёт конкуренция строительных материалов на мировом рынке. Производители промышленно-развитых стран всё более активно ориентируются на использование передовых технологий в этой отрасли. Из анализа экспертных оценок специалистов следует, что в ближайшие 20 лет до 90 % современных материалов, применяемых в промышленности, могут быть заменены иными с применением нового вида сырья, что позволит создать элементы конструкций, которые будут определять технический прогресс XXI века. Особенность бетона нового поколения – это многокомпонентность [1, 3]. Это обусловлено не только повышением качества строительных материалов, но и сменой сырьевой базы, которая не обновлялась со времен СССР и уже не отвечает современным условиям и требованиям строительной индустрии.

Полученные результаты и их обсуждение

Используемые энергоэффективные технологические приёмы получения строительных материалов на основе многокомпонентных составов различной химической природы чаще опираются на уже сложившуюся систему знаний механики свойств и структурообразования бетонов с использованием полного потенциала системы внутренних связей в материале за счёт химической, механической, термической, электромагнитной, ультрафиолетовой активизации отдельных компонентов. При этом для облегчения понимания сути формирования структуры строительных материалов на основе многокомпонентных составов предлагается выделять иерархии и характеристики каждого масштабного уровня [2].

Технологические особенности процесса производства фибробетонных изделий выдвигают определённые требования к формовочной смеси, как в отношении удобоукладываемости, пластичности и срокам схватывания, так и к прочностным показателям конечного продукта. Достижение указанных характеристик осуществляется за счёт разработки вяжущего материала, основная масса которого представлена портландцементом.

Цемент и бетон являются самыми востребованными ресурсами после воды. Их ежегодное производство в мире в среднем составляет около 1 тонны на человека. В то же время, в мировой строительной индустрии в рамках решения задач снижения глобальной антропогенной эмиссии парниковых газов активно ведутся разработки по сокращению доли использования портландцемента. Например, за 2020 год мировое производство цементной промышленности составило чуть свыше 4,1 млрд. тонн. При этом сумма прямых и косвенных выбросов парниковых газов от производства составила 3,1 млрд. тонн CO₂-экв, или 5,6 % антропогенной эмиссии. С этой проблемой тесно переплетается, широко декларируемая, необходимость создания материалов с регулируемыми свойствами.

Комплексное достижение поставленных задач возможно путем разработки многокомпонентных составов, включая вяжущие с контролем процессов структурообразования на микро- и макроуровне [4]. Синергетический эффект достигается за счёт выбора минерального сырья природного и техногенного происхождения, с учётом химического, минерального, гранулометрического состава, выбора комплекса органических добавок и методологических подходов их применения. Эффективность действия многокомпонентных вяжущих заключается в активности слагаемого сырья с достижением синергетического эффекта [5].

С учётом стремительной эволюции требований, предъявляемых к сырью, материалу, изделию, в решении вопросов рационального использования техногенного сырья все более значимую роль приобретают исследования поверхностной активности частиц и регулирования её свойств. Применение тонкодисперсных добавок с более развитой удельной поверхностью ведёт к повышению плотности упаковки зёрен в бетонной матрице с позиции механики гетерогенных сред и повышению водоудерживающих свойств.

В технической литературе отмечается огромный потенциал формирования микроструктуры цементного камня с регулируемыми физико-механическими свойствами за счёт применения модифицирующих добавок наноразмерного уровня [7]. На фоне использования известных углеродных наночастиц, возрастает интерес использования техногенного сырья в виде технического углерода (сажи). Введение порошка технического углерода с размером частиц не более 5 мкм в бетонную смесь позволяет увеличить её подвижность, снизить количество воды затворения на 10...15 %, уменьшить водоцементное отношение с увеличением прочности изделия, начиная с ранних сроков твердения. При этом одной из наиболее сложных задач является равномерное распределение наночастиц в объёме бетонной матрицы.

Использование в составе бетона мелкодисперсных частиц соответствует теории разработки мелкозернистого бетона, где наполнители имеют дисперсность выше, чем дисперсность

частиц цемента. Регулирование водопотребности и сроков схватывания в таких системах достигается за счёт введения органических добавок и наполнителей.

Введение в сырьевую смесь химических пластифицирующих и водоредуцирующих добавок позволяет уменьшить объём воды в бетонной смеси (до 20...40 %) и улучшить удобоукладываемость, повысить подвижность и сократить долю цемента.

Получение подобного рода композиционных вяжущих проводят совместным тонким измельчением компонентов (традиционная технология) или же раздельным помолом, при котором составляющие вяжущего вводятся поочередно, либо предварительно домалываются до определённой удельной поверхности, которую желателно подбирать экспериментально, и затем перемешивают [7]. При этом максимальный прирост прочности затвердевшего композиционного вяжущего достигается оптимальной дисперсностью минерального наполнителя. Вводимый минеральный компонент должен иметь высокую активность химического взаимодействия, критерием которой является пуццолановая активность, с учётом минимального влияния на нормальную плотность цементного теста, что зачастую не всегда удаётся добиться на практике.

При изготовлении высокопрочных строительных композитов в качестве замены традиционного кварцевого песка рекомендуется снижать соотношение водотвёрдое отношение и включать в состав золу-уноса, микрокремнезём и ультрадисперсный порошок кремнезёма [6]. Эффективным энергосберегающим подходом является добавление в состав бетонов ультрадисперсных активных минеральных добавок с высоким содержанием SiO_2 и слабой степени кристаллизации. Это позволяет изготавливать и эксплуатировать материалы с высокой прочностью, низкой водопроницаемостью, повышенной коррозионной стойкостью. Одной из широко применяемых минеральных высокодисперсных добавок является микрокремнезём. Добавки на основе кремнезёма представляют собой высокоактивные пуццоланы. При этом данный вид модификаторов даёт двойной эффект использования в композите. Сферическая форма частиц обеспечивает так называемое «подшипниковое» действие с повышением подвижности смеси. Такая смесь легче транспортируется и повышается удобоукладываемость. С другой стороны, кремнезём проявляет высокую пуццолановую активность, вступая в химическую реакцию с гидроксидом кальция, образующимся в процессе гидратации клинкерных минералов. Также кремнезём и микрокремнезём используются в качестве добавки-уплотнителя смеси.

При оценке качества сырья одинакового минерального состава следует учитывать его генетические особенности в случае применения техногенного сырья – историю техногенеза.

По данным ЮНЕСКО, в мире ежегодно извлекают из недр более 120 млрд. т. руд, горючих ископаемых и другого сырья. В России ежегодно образуется 2,45...4,76 млрд. т. отходов добычи и обогащения, а в отвалах и хранилищах горнодобывающей отрасли страны накоплено 80...90 млрд. т. твёрдых отходов. Важно отметить тот факт, что Российская Федерация является одной из немногих стран, где не достаточно развита утилизация золошлаковых отходов в строительной отрасли. Согласно энергетической стратегии «Энергостратегия–2035» к 2035 году она составит до 50 %. В Китае утилизация зол и шлаков в строительной отрасли составляет более 90 %, в США достигает 30 % при сокращении объёма угольной генерации.

Учёным в работе удалось сократить на 30 % долю цемента при ведении в состав фибробетона золу-уноса, при этом снизить показатели проницаемости и снизить усадки при высыхании. Кроме того, известно, что введение фибры в бетонную смесь позволяет сократить до 8 % портландцемента в смеси.

Преимущества использования в бетонных смесях золы и шлаков обусловлено их физико-механическими характеристиками. Так, например, зола-уноса представляет собой алюмосиликатные вещества с низким содержанием кальция в виде мелкодисперсного порошка. Свойства золы уноса позволяют её использовать без осуществления дополнительных действий, таких как помол, что экономит не только время на приготовление

бетонных смесей, но и затраты на использование дополнительного оборудования (мельниц для помола) [8].

Практический и научный интерес проявляется к использованию технических кремнезёмов, применение которых в бетонах раньше считалось нецелесообразным по экономическим соображениям. Это касается таких продуктов, как химически осажденный SiO_2 и коллоидный SiO_2 -материалов, обладающих ещё большей дисперсностью по сравнению с микрокремнезёмом, зола-уносом, молотым гранулированным доменным шлаком, вторичными отходами производства бетона.

Содержание активных высокотемпературных модификаций кварца отмечается в отходах производства волокнистых теплоизоляторов. Технология получения минерального волокна включает плавку горных пород при температурах свыше $1500\text{ }^\circ\text{C}$, что отражается на полиморфных преобразованиях кварца и увеличении степени его дефектности, а, следовательно, активности. Как правило, изоляционные материалы получают из горных пород таких как, базальт, анортозит, доломит, диабаз, оливинный песок, шлак. Мировой масштаб накопления отходов минеральной ваты составляет 2,54 миллиона тонн в год. В большинстве случаев они скапливаются на полигонах, что вызывает экологические проблемы.

Согласно проведённому анализу в мировой научной литературе отмечается возрастание количества работ по использованию отходов волокнистых теплоизоляционных материалов в строительном материаловедении. Это обусловлено не достаточной изученностью данного отхода в сравнении с известным техногенным сырьем. В решении этой проблемы большая часть исследований проводится китайскими учеными. Известны работы по использованию отходов в вяжущих на основе цемента, гипсовых и геополлимерных вяжущих.

Отмечается, что добавление 10 % по объёму минеральной ваты позволяет повысить прочность на сжатие цементного бетона на 20 % и предел прочности на разрыв на 30 %, а волокнистая составляющая отхода действует как фибра, препятствующая распространению трещин. В общем случае на эффективность действия отхода минеральной ваты зависит от химического состава, на который влияет тип исходного минерального сырья.

Таким образом, устойчивое развитие промышленности строительных материалов сопровождается возрастающими экологическими ограничениями, что требует разработки научно-технических решений с использованием нетрадиционного техногенного сырья за счёт проектирования многокомпонентных полидисперсных составов строительных изделий, обладающих улучшенным комплексом физико-механических свойств.

Благодарности

Работа подготовлена при финансовой поддержке в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты» новой лаборатории «Ресурсо-энергосберегающие технологии, оборудование и комплексы» (FZWN-2021-0014).

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

Список литературы

1. Klyuev S. V., Klyuev A. V., Abakarov A. D., Shorstova E. S., Gafarova N. G. The effect of particulate reinforcement on strength and deformation characteristics of fine-grained concrete // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 7(75). С. 66–75.

2. Klyuev S. V., Khezhev T. A., Pukharenko Yu. V., Klyuev A. V. The fiberreinforced concrete constructions experimental research // *Materials Science Forum*. 2018. Т. 931. С. 598–602.
3. Ключев С. В. К вопросу фибрового армирования бетонов // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2018. №3-4 (230231). С. 42–47.
4. Ключев С. В., Ключев А. В., Кузик Е. С. Аддитивные технологии в строительной индустрии // В сборнике: интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика. 2016. С. 54–58.
5. Ключев С. В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе отсева кварцитопесчанника // В сборнике: Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. 2011. С. 27–31.
6. Коротких Д. Н. Трещиностойкость современных цементных бетонов (проблемы материаловедения и технологии) / Д. Н. Коротких // *Монография*. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2014. – 141 с.
7. Лесовик Р. В., Ключев А. В., Ключев С. В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сбонных элементов конструкций // *Технологии бетонов*. 2014. №2 (91). С. 44–45.
8. Лобанов И. А. Особенности структуры и свойства дисперсно – армированных бетонов // И. А. Лобанов / *Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов*. – Л., 1986. – С. 3–10.

Composite mixtures using natural and man-made raw materials

Klyuev A. V., Klyuev S. V., Shchekina N. A., Zolotareva S. V., Shapovalova A. V.

BSTU im. V. G. Shukhov, 308012, Belgorod, st. Kostyukova 46

The article discusses the technological features of the production process of fiber-reinforced concrete products, the impact of the development of a binder material on the characteristics of fiber-reinforced concrete, the requirements for molding sand, both in terms of workability, plasticity and setting time, and to the strength indicators of the final product. The main developments of multicomponent compositions, including binders with the control of structure formation processes at the micro- and macrolevels, are highlighted. The formation of the microstructure of cement stone with controlled physical and mechanical properties due to the use of modifying additives of the nanoscale level is also considered. Various types of introduction of organic, chemical plasticizing and water-reducing additives and fillers are presented. The necessity of creating materials with controlled properties using a new type of raw material is substantiated.

Keywords: multicomponent, workability, synergistic effect, carbon black, pozzolanic activity.