СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Чижов Р.В., аспирант,
Кожухова Н.И., канд. техн. наук, ст.н.с.,
Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.,
Жерновский И.В., к.г.-м. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

АЛЮМОСИЛИКАТНЫЕ БЕСКЛИНКЕРНЫЕ ВЯЖУЩИЕ И ОБЛАСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ*

kozhuhovanata@yandex.ru

В рамках статьи проведен аналитический обзор существующих видов бесцементных вяжущих преимущественно алюмосиликатного состава, применяемых в строительной отрасли на отечественных предприятиях и за рубежом. Выявлена их широкая номенклатура и высокая степень использования при производстве материалов общестроительного и специального назначения. Отмечена перспективность разработки и практического применения алюмосиликатных вяжущих негидратационного твердения, таких как НВ и геополимеры на основе альтернативных маловостребованных сырьевых материалов благодаря выгодному сочетанию простоты и экологичности производственного процесса с хорошими эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: *минеральные вяжущие вещества, алюмосиликатные вяжущие, бесклинкерные вяжущие негидратационного типа твердения, области практического применения*

Введение. Производство вяжущих материалов имеет важную роль в обеспечении строительной отрасли государства материально-технической базой и является индикатором его дальнейшего развития. Наиболее глубоко развитым и широко распространенным направлением промышленной отрасли строительных материалов является производство минеральных вяжущих веществ и различных композитов на их основе.

Как известно, основным и наиболее широко используемым видом минерального вяжущего в строительной отрасли является портландцемент.

Долгое время не вызывала сомнений целесообразность растущего производства данного вида вяжущего. Однако, в последние десятилетия, огромные выбросы CO_2, высокая материало- и энергоемкость конечного продукта, вызвали необходимость поиска путей снижения объемов применения клинкера при производстве цементных вяжущих.

В связи с этим все больший интерес проявляется к бесклинкерным вяжущим, в большей степени, на основе сырьевых материалов алюмосиликатного состава.

Основная часть. Среди бесклинкерных алюмосиликатных вяжущих могут быть отмечены: шлакощелочные, известково-шлаковые, известково-пуццолановые, известково-кремнеземистые, грунтоцементы, алюмосиликатные вяжущие и др., как правило, представляющие собой тонкоизмельченные порошки, состоящие из гидравлически активного компонента или щелочного активатора, а также доступного природного сырья или промышленных отходов и побочных природных продуктов в качестве активных минеральных добавок [1–7].

Согласно приведенной классификации (рис. 1), номенклатура бесклинкерных вяжущих довольно широка, что связано, прежде всего, с большим разнообразием применяемых сырьевых материалов (зачастую, мало востребованных) как природного, так и техногенного происхождения. На основании этого, разработка и применение алюмосиликатных бесклинкерных вяжущих позволит получать более дешёвые композиты, в сравнении с существующими аналогами и существенно снизить, а в некоторых случаях и исключить вредное воздействие производственного процесса на окружающую среду, а также, рационально распределять ограниченные природные ресурсы.

Наиболее типичным представителем алюмосиликатных бесклинкерных композиционных вяжущих является шлакощелочные вяжущие (ШЩВ).

Шлакощелочное вяжущее получают в результате смешения измельченных шлаков, щелочного компонента или растворов солей щелочных металлов и воды. Для инициации протекания процессов твердения ШЩВ необходимым условием является высокий показатель pH среды затворения, обеспечиваемый введением щелочного компонента. При производстве ШЩВ в

большинстве случаев используют шлаки цветной металлургии, доменные гранулированные шлаки и др.

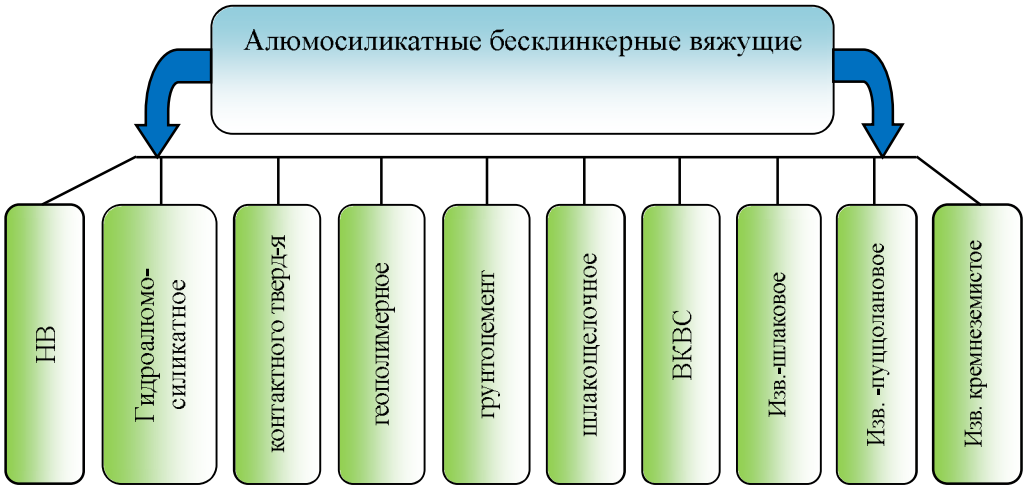

Рис. 1. Классификация существующих алюмосиликатных бесклинкерных вяжущих

На сегодняшний день существует широкий ряд шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе, применяемых в различных сферах строительной отрасли для производства изделий и конструкций общестроительного и специального назначения.

Еще одной, не менее значимой нишей ШЩБ является их применение в качестве объектов для иммобилизации тяжелых металлов, а также локализации и захоронения радиоактивных отходов.

Одним из первых представителей шлакощелочных вяжущих следует выделить грунтоцемент.

Грунтоцемент представляет собой смесь рыхлых грунтов и золошлаковых отходов, добавок органического и минерального происхождения, затворенную водным раствором жидкого стекла, используемого в качестве связующего компонента. При производстве бетона – грунтосиликата, в качестве мелкого заполнителя могут быть использованы природные материалы: пески, супеси, лесс и иные грунты; техногенные: золы, золы-уноса, отвальные, котельные и гранулированные доменные шлаки [8].

Грунтоцемент следует относить к гидравлическим вяжущим воздушного типа твердения. Подбирая тип и количество вводимых в состав вяжущего добавок, а также регулируя условия твердения смеси на основе грунтоцементов и грунтосиликатов, можно получать широкий ассортимент строительных материалов, обладающих заданными технико-эксплуатационными характеристиками (повышенная ранняя прочность, водостойкость, устойчивость в агрессивных средах и др.).

Учитывая высокие эксплуатационные характеристики грунтосиликатов и ШЩВ при низких и отрицательных температурах в комплексе с сульфатной коррозией почв и одновременным воздействием механических нагрузок, эти материалы активно используются в конструкциях различного специального назначения, при возведении гидротехнических, дорожных, шахтных сооружений, конструкций сельскохозяйственного назначения, а также строительства промышленных, общественных и жилых зданий.

Вяжущее контактного (контактно-конденсационного) твердения представляет собой порошкообразный материал метастабильной структуры, инициирование процессов структурообразования, твердения и формирования эксплуатационных характеристик которого осуществляется в момент прессования.

Механизм контактно-конденсационного твердения этого типа вяжущих основан на способности силикатных систем проявлять вяжущие свойства за счет энергетического потенциала, который является функцией физического состояния дисперсного вещества.

Процесс контактного твердения системы осуществляется при условии, если структура вещества находится в метастабильном состоянии [9].

По механизму контактно-конденсационного твердения на основе отходов промышленности разработаны составы и предложены технологии получения мелкоштучных изделий для гражданского и дорожного строительства.

Вяжущие полимеризационно-поликонденсационного твердения. С 70-х гг. XX столетия проф. Ю.Е. Пивинским активно развивается направление, нацеленное на разработку бесклинкерных (керамических) композитов специального назначения на основе высококонцентрированных вяжущих суспензий (ВКВС).

ВКВС представляют собой минеральные водные дисперсии, получаемые преимущественно мокрым постадийным измельчением природных «тощих» или техногенных (прошедших стадию термообработки) кремнеземистых, алюмосиликатных или других материалов, в условиях высокой концентрации твердой фазы, повышенной температуры и предельного разжижения. Данная технология производства вяжущего обеспечивает возможность получения определенной доли коллоидной составляющей (золя), а также способствует протеканию механоактивационных процессов в системе. Структурообразование и твердение системы ВКВС осуществляется в результате протекания в ней полимеризационно-поликонденсационных процессов.

Композиты на основе ВКВС нашли широкое применение при разработке новых видов керамических изделий с более высокими физико-механическими характеристиками, таких как техническая, безобжиговая керамика, высокоплотные литые огнеупоры, огнеупорные бетоны или керамобетоны и т.д. [10].

Усовершенствованной разновидностью вяжущего ВКВС является одна из разработок ученых Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, так называемое *наноструктурированное вяжущее (НВ)*, которое представляет собой неорганическую полидисперсную и полиминеральную вяжущую систему, имеющую преимущественно силикатный или алюмосиликатный состав и обладает высокой концентрацией активной твёрдой фазы, содержащей нанодисперсный компонент в количестве 3–10 % [11, 12].

Использование технологии производства НВ позволяет расширить спектр областей применения вяжущего ВКВС и композитов на его основе. С использованием данного вяжущего могут быть получены строительные материалы различного функционального назначения: теплоизоляционные изделия, многослойные стеновые материалы, автоклавные силикатные блоки, отделочные материалы, а также кислотостойкие бетоны, огнеупоры и т.д.

Гидроалюмосиликатное вяжущее представляет собой вяжущее сырьевой шихты из кислых вулканических стекол (перлиты, обсиданы, липариты, литоидная пемза и т.д.), глинозема и шамота, а также NaOH в качестве затворителя. На его основе получают жаростойкий шамотный перлитобетон, отличающийся повышенной термостойкостью в сравнении с мелкоштучными керамическими изделиями, которые используют в качестве футеровки обжиговых вагонеток предприятий строительной керамики.

Алюмосиликатное вяжущее – огнеупорное вяжущих на основе раствора алюмината натрия, дисперсных шамота и аморфного микрокремнезема, активных по отношению к алюминату натрия. Сочетание вяжущего с огнеупорными и высокоогнеупорными наполнителями способствует получению при температурах выше 600 °С керамической кристаллической связки из огнеупорных фаз – муллита, на их основе получают огнеупорные бетоны специально назначения [13].

Вяжущее полимеризационного типа твердения. Первое упоминание о минеральных полимерах было сделано французским ученым Дж. Давидовичем в середине 1970-х гг. XX в.

Геополимеры представляют собой неорганические полимеры, получаемые в результате химической реакции между раствором щелочей щелочных и щелочноземельных металлов или их солей и алюмосиликатным компонентом [14].

При производстве геополимеров используют алюмосиликаты природного и техногенного происхождения. В качестве техногенного сырья активно используются материалы пирогенного происхождения, а именно, золы-уноса ТЭС, топливные шлаки, доменные гранулированные шлаки и т.д. [15]. На сегодняшний день к геополимерам, проявлен довольно живой интерес благодаря их эксплуатационным характеристикам, которые сравнимы с традиционными цементными вяжущими и могут применяться в широком спектре человеческой деятельности, преимущественно, строительной.

В те же время необходимо отметить следующие преимущества геполимеров в сравнении с традиционными цементными аналогами: сокращение выбросов парниковых газов в атмосферу в процессе производства вяжущего; низкая проницаемость и высокий pH-показатель поровой жидкости, что обеспечивает высокую стойкость в агрессивных средах, а также устойчивость в условиях температурных перепадов и дает возможность их использования в неблагоприятных условиях, а также в сооружениях специального назначения.

Выводы. На основе проведенного обзорного анализа существующих бесклинкерных вяжущих веществ преимущественно алюмосиликатного состава следует отметить их довольно большое разнообразие, а также широкий спектр их практического применения, что объясняется их высокими эксплуатационными характеристиками, зачастую, носящими уникальный характер, а также выгодными технико-экономическими показателями в сравнении с традиционными цементными аналогами. В то же время необходимо подчеркнуть перспектив-

ность разработки и практического применения алюмосиликатных вяжущих негидратационного твердения, таких как НВ и геополимерные вяжущие, отличающихся простотой, экологичностью и низкой энергоемкостью производства в сравнении с цементом, а также возможностью использования альтернативных маловостребованных и, как следствие, менее дорогостоящих сырьевых ресурсов.

**Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. использованием оборудования на базе Центра Высоких Технологий, БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимова Н.И., Шаповалов Н.Н. Материалы автоклавного твердения с использованием техногенного алюмосиликатного сырья // Фундаментальные исследования. 2013. № 6. ч.3. С. 525–529.

2. Ходыкин Е.И., Фомина Е.В., Николаенко М.С., Лебедев М.С. Рациональные области использования сырья угольных разрезов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 125–128.

3. Кадышев Н.Д., Кожухова Н.И. Перспективы использования доменных гранулированных шлаков при производстве эффективных бесцементных вяжущих // Современные строительные материалы, технологии и конструкции: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Грозный: ГГНТУ, 2015. С. 139–143.

4. Фомина Е.В., Кудеярова Н.П., Тюкавкина В.В. Активация гидратации композиционного вяжущего на основе техногенного сырья // Строительные материалы. 2015. № 12. С. 61–64

5. Лебедев М.С., Жерновский И.В., Фомина Е.В., Фомин А.Е. Особенности использования глинистых пород при производстве строительных материалов. 2015. № 9. С. 67.

6. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 29-32.

7. Агеева М.С., Алфимова Н.И. Эффективные композиционные вяжущие на основе техногенного сырья. Saarbrucken, 2015. 84 С.

8. Глуховский В.Д. Грунтосиликаты. Киев : Госстройиздат, 1959. 125 с.

9. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях: Монография под ред. проф. В.Д. Глуховского. Киев: Вища школа, Головное изд-во, 1981. 224 с.

10. Cherevatova A.V. Principles of creating nanostuctured binders based on HCBS. Refractories and Industrial Ceramics. 2010. Vol. 51. № 2. pp. 118–120.

11. Strokova V. V., Cherevatova A. V., Pavlenko N. V., Nelubova V. V. Prospects of Application of Zero-Cement Binders of a Nonhydration Hardening Type // World Applied Sciences Journal. 2013. №25 (1). pp. 119–123.

12. Жерновский И.В., Осадчая М.С., Череватова А.В., Строкова В.В. Алюмосиликатное наноструктурированное вяжущее на основе гранитного сырья // Строительные материалы. 2014. № 1–2. С. 38–41.

13. Ефремов А.Н. Алюмосиликатное вяжущее на основе алюмината натрия. Збірник наукових праць: УкрДАЗТ, 2013. № 138. С. 154–163.

14. Davidivitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2008. 592 pp.

15. Kozhuhova N.I., Zhernovskiy I.V., Osadchaya M.S., Strokova V.V., Tchizhov R.V. Revisiting a selection of natural and technogenic raw materials for geopolymer binders // International Journal of Applied Engineering Research. 2014. Vol. 9. pp. 16945–16955.

Chizhov R.V., Kozhukhova N.I., Strokova V.V., Zhernovsky I.V.

ALUMINOSILICATE FREE OF CLINKER BINDERS AND AREAS OF ITS APPLICATION

In this paper the analytical review of available non-cement aluminosilicate binders applied in construction industry in Russia and others countries is presented. The wide assortment and high degree of their application in construction materials of general and special purposes are revealed. The prospectivity of development and practical application of aluminosilicate binders with non-hydration type of hardening such as nanostructuring binder (NB) and geopolymers on the base of alternative low-demand raw materials due to good combination of simpleness and ecological compatibility of production technology as well as high experience characteristics is noted.

Key words: *mineral binders, aluminosilicate binders, free of clinker binders, binders with non-hydration type of hardening, areas of practical application*

Чижов Ростислав Валерьевич, аспирант, инженер-исследователь кафедры материаловедения и технологии материалов.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: rastis-lav@ya.ru

Кожухова Наталья Ивановна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры материаловедения и технологии материалов.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru

Строкова Валерия Валерьевна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой материаловедения и технологии материалов.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: vvstrokova@gmail.com.

Жерновский Игорь Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: zhernovsky.igor@mail.ru