

Вишневская Я. Ю., канд. техн. наук, н. с.,
Яковлев О. А., доц.,
Калатоzi В. В., канд. техн. наук, доц.,
Шадский Е. Е., студент,
Бондаренко Д. О., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ТОНКОМОЛОТЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЦЕМЕНТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЯ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА*

vish-yana@yandex.ru

В настоящее время композиционные вяжущие, получаемые совместным помолом клинкерной составляющей с кремнеземсодержащими компонентами различного генезиса являются одним из перспективных материалов позволяющих не только значительно экономить сырьевые ресурсы, но и получать изделия с уникальными свойствами. Однако их применение на крупных заводах ЖБИ и ЖБК затруднено вследствие того, что массовые производства до сих пор не могут обойтись без ускорения твердения методом тепловлажностной обработки. Это обусловлено тем, что процессы твердения в тепло-влажностных условиях композитов на основе композиционных вяжущих изучены не достаточно. В связи с чем, были изучены закономерности изменения активности тонкомолотых многокомпонентных цементов в зависимости от вида количества кремнеземсодержащего компонента и температуры тепловлажностной обработки, что позволило ранжировать сырье по степени его эффективности и выработать определенные рекомендации по подбору температуры изотермической выдержки.

Ключевые слова: композиционные вяжущие, техногенное сырье, тепловлажностная обработка, кремнеземсодержащий компонент

Введение

Как известно, при производстве строительных материалов основная часть затрат приходится на сырьевые и топливно-энергетические ресурсы. При этом наиболее энергоемким технологическим переделом является тепловая обработка, доля которой составляет около 70 % от энергозатрат [1].

Из сырьевых ресурсов основной вклад в себестоимость конечной продукции вносят вяжущие, снижения затрат на которые можно достичь за счет использования композиционных вяжущих (КВ). В настоящее время разработана широкая номенклатура КВ, где в качестве кремнеземистого компонента применяется сырье как природного, так и техногенного происхождения [2-24]. Однако процессы структурообразования композитов в условиях тепловой обработки на их основе изучены недостаточно, что затрудняет процесс внедрения КВ на заводах ЖБИ и ЖБК, которые до сих пор не могут обойтись без ускорения твердения методом тепловлажностной обработки (ТВО) или автоклавирования.

В связи с этим исследование процессов структурообразования композиционных вяжущих, изготовленных с использованием сырья различного генезиса, приобретает особую актуальность.

Методика

В качестве объектов исследования были выбраны четыре разновидности песков, входящие в различные генетические группы:

осадочные (природные) – кварцевый песок Нижне-Ольшанского месторождения;

магматические (природные) – полнокристаллический вулканический пепел (Республика Эквадор);

метаморфические (техногенные) – отсев дробления кварцитопесчаника зеленосланцевой степени метаморфизма (Лебединский ГОК);

пирогенные (техногенные) – отход производства керамзитового гравия, образующийся на стадии сортировки (ОАО ЖБК-1, г. Белгород).

Для изучения влияния условий твердения на свойства композиционных вяжущих были запланированы две матрицы для каждого вида кремнеземсодержащего компонента (КСК). В качестве факторов варьирования были приняты количество КСК и температура изотермической выдержки (табл. 1, 2).

Выбор факторов и параметров оптимизации производился исходя из технологической и экономической целесообразности. Варьирование температуры изотермической выдержки при пропаривании преследовало цель выявления ее оптимального значения для каждого вида кремнеземсодержащего компонента.

Режим тепловлажностной обработки выбран в соответствии с наиболее распространенным на заводах по производству железобетон-

ных изделий 2+3+6+2. Образцы испытывались через 1 сут после пропаривания.

Таблица 1

Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	1	
Кремнеземсодержащий компонент, % от массы КВ	X ₁	30	50	70	20
Температура изотермической выдержки, °С	X ₂	55	70	85	15

Таблица 2

Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	1	
Кремнеземсодержащий компонент, % от массы КВ	X ₁ '	70	80	90	10
Температура изотермической выдержки, °С	X ₂	55	70	85	15

В соответствии с матрицей планирования были рассчитаны 9 составов композиционных вяжущих. Все составы проектировались с условием равной подвижности.

Выходным параметром для подбора оптимального состава служила прочность на сжатие (табл. 3, 4).

Таблица 3

Активность ТМЦ в зависимости от температуры изотермической выдержки, количества и вида кремнеземсодержащего компонента*

№ опыта	X ₁	X ₂	Количество кремнеземистого компонента	T _{из} , °С	Кварцевый песок	Отсев дробления кварцито-песчаника	Вулканический пепел	Керамзитовая пыль
1	-1	-1	30	55	19,84	28,38	20,84	34,60
2	1	-1	70	55	7,87	13,34	8,97	23,63
3	-1	1	30	85	28,02	33,41	28,12	34,11
4	1	1	70	85	11,46	15,29	14,02	24,68
5	0	0	50	70	28,56	33,2	28,11	38,11
6	0	1	50	85	20,79	21,52	22,18	32,11
7	0	-1	50	55	13,86	17,99	14,73	21,13
8	1	0	70	70	15,68	19	18,01	28,00
9	-1	0	30	70	34,52	39,15	37,41	44,51

*Условия планирования эксперимента табл. 1

Таблица 4

Активность ТМЦ в зависимости от температуры изотермической выдержки, количества и вида кремнеземсодержащего компонента*

№ опыта	X ₁	X ₂	Количество кремнеземистого компонента	T _{из} , °С	Кварцевый песок	Отсев дробления кварцито-песчаника	Вулканический пепел	Керамзитовая пыль
1	-1	-1	70	55	7,87	13,34	8,97	22,63
2	1	-1	90	55	2,29	7,91	4,99	11,13
3	-1	1	70	85	11,46	15,29	14,02	22,68
4	1	1	90	85	4,95	9,86	5,10	15,73
5	0	0	80	70	9,25	14,87	11,02	22,11
6	0	1	80	85	8,03	13,26	10,98	19,11
7	0	-1	80	55	4,76	10,59	5,87	15,51
8	1	0	90	70	6,38	9,15	8,18	18,14
9	-1	0	70	70	15,68	19,00	18,01	26,00

*Условия планирования эксперимента табл. 2

Для контрольного сравнения были изготовлены образцы ЦЕМ I 42,5 Н, ТМЦ-100, тверде-

ющие в аналогичных условиях (табл. 5).

Таблица 5

Активность бездобавочных вяжущих в зависимости от условий твердения

Вид вяжущего	Активность вяжущих, МПа, твердеющих в различных условиях		
	Тепловая обработка при температуре изотермической выдержки:		
	55 °С	70 °С	85 °С
ЦЕМ I 42,5 Н	27,00	38,10	34,40
ТМЦ-100	38,50	42,50	37,80

Основная часть.

После статистической компьютерной обработки экспериментальных данных были получены математические модели изменения прочности композиционных вяжущих в зависимости от

Уравнение регрессии прочности при сжатии для ТМЦ, изготовленного с использованием:

кварцевого песка:

$$а) R = 27,26 - 7,895X_1 + 3,1167X_2 - 1,505X_1^2 - 9,28X_2^2 - 1,1X_1X_2$$

$$б) R = 9,931 - 3,565X_1 + 1,5867X_2 + 0,758X_1^2 - 3,88X_2^2 - 0,2X_1X_2$$

отсева дробления кварцитопесчаника:

$$а) R = 30,01 - 8,885X_1 + 1,752X_2 + 0,525X_1^2 - 8,8X_2^2 - 0,8X_1X_2$$

$$б) R = 15,66 - 3,452X_1 + 1,095X_2 - 0,482X_1^2 - 2,63X_2^2 - 0,1X_1X_2$$

вулканического пепла:

$$а) R = 28,14 - 7,562X_1 + 3,297X_2 - 0,445X_1^2 - 9,7X_2^2 - 0,6X_1X_2$$

$$б) R = 12,01 - 3,788X_1 + 1,712X_2 - 0,588X_1^2 - 4,08X_2^2 - 1,2X_1X_2$$

керамзитовой пыли:

$$а) R = 21,77 - 4,385X_1 + 1,375X_2 + 0,475X_1^2 - 4,29X_2^2 + 1,14X_1X_2$$

$$б) R = 36,11 - 6,15X_1 + 19,23X_2 + 1,138X_1^2 - 8,5X_2^2 + 0,38X_1X_2$$

Анализ полученных результатов позволил выявить определенные закономерности изменения активности композиционных вяжущих в зависимости от температуры изотермической выдержки, количества и вида кремнеземсодержащего компонента.

Максимальная активность наблюдается у КВ, изготовленных с использованием отходов производства керамзита. Следует отметить, что разница в показателях прочности по сравнению с показателями КВ на других кремнеземистых компонентах, растет с увеличением доли керамзитовой пыли. Так, для ТМЦ-70 разница составляет 12–22 %, для ТМЦ-50 – 13–25 %, в то время как для ТМЦ-30 – 30–40 %, ТМЦ-20 – 32–58 %, ТМЦ-10 – 50–65 %. Данный факт обусловлен высокой начальной удельной поверхностью керамзитовой пыли, введение которой повышает общую реакционную способность смеси.

Наименьшей прочностью отличаются вяжущие изготовленные с использованием кварцевого песка и вулканического пепла, что объясняется их невысокой активностью в сравнении с кварцитопесчаником и керамзитовой пылью.

Анализ влияния температуры изотермической выдержки на прочность КВ показал, что с содержанием клинкерной составляющей 70–30 % наиболее оптимальной является $t = 70$ °С,

когда количества кремнеземсодержащего компонента и температуры изотермической выдержки при тепловой обработке. По уравнениям регрессии был сделан анализ влияния исследуемых факторов.

при ее повышении до 85 °С увеличивается негативное воздействие деструктивных процессов, что и приводит к сбросу прочности. Невысокие прочностные показатели при 55 °С можно объяснить недостаточной активацией кремнеземистого компонента. Для ТМЦ с содержанием клинкерной составляющей 30–10 % (табл. 4) наблюдается аналогичная картина.

Анализ характера изменения активности контрольных образцов показал, что во всех случаях оптимальной температурой изотермической выдержки является 70 °С (табл. 5).

Изучение микроструктуры композиционных вяжущих, позволило обосновать данные по изменению их активности.

Анализ новообразований ТМЦ-70 с использованием кварцевого песка и отсева дробления кварцитопесчаника, твердеющих в нормальных условиях, показал наличие большого количества пластинчатых гидросиликатов кальция.

В аналогичных образцах вяжущих, твердеющих при температуре изотермической выдержки 70 °С, видны новообразования, которые образуют сетку, заполняющую анизометричные поры, за счет чего достигается плотная микроструктура материала, предопределяющая высокую прочность при сжатии. Подобные игольчатые новообразования наблюдаются в образцах,

твердеющих при температуре изотермической выдержки 85 °С, при этом для вяжущих, прошедших ТВО при 55 °С характерна рыхлая структура представленная плохо раскристаллизованными и, вероятнее всего, рентгеноаморфными новообразованиями и пластинами портландита.

Проведенные исследования позволили проанжировать кремнеземсодержащее сырье по степени снижения эффективности в качестве компонента композиционных вяжущих, твердеющих в тепловлажностных условиях и в условиях гидротермальной обработки в следующей последовательности: «керамзитовая пыль – отсев дробления кварцитопесчаника – вулканический пепел – природный кварцевый песок».

Выводы

Таким образом, был установлен характер изменения активности композиционных вяжущих от вида, количества кремнеземсодержащего компонента и условий твердения. При использовании генетически активированного за счет геологических и техногенных процессов сырья, процессы синтеза новообразований происходят при пониженных энергозатратах, что позволило осуществить ранжирование кремнеземсодержащего сырья по степени снижения эффективности в качестве компонента композиционных вяжущих, твердеющих в различных условиях.

**Работа выполнена в рамках Гранта Президента Российской Федерации МК-5667.2013.8 и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимова Н.И., Вишневецкая Я.Ю., Трунов П.В. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих : монография. Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2012. 97 с. ISBN 978-3-8484-1919-7

2. Шейченко М.С., Лесовик В.С., Алфимова Н.И. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов Ковдорского месторождения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 10–14.

3. Строкова В. В., Алфимова Н. И., Наваретте Велос Ф. А., Шейченко М.С. Перспективы использования вулканического песка Эквадора для производства мелкозернистых бетонов // Строительные материалы. 2009 № 2. С. 32–33.

4. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н., Ластовецкий А.Н. О возможности использования техногенных песков в качестве сырья для производства строительных материалов* //

Региональная архитектура и строительство. 2008. №2. С. 10–15.

5. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н. Стеновые камни из мелкозернистого бетона на основе техногенного сырья // Известие вузов. Строительство. 2007. №11. С. 46–49.

6. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И. Комплексное использование отходов обогащения ЮАР // Промышленное и гражданское строительство. 2007. №8. С. 30–31.

7. Лесовик Р.В., Топчиев А.И., Агеева М.С., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И., Гринев А.П. Пути повышения эффективности мелкозернистого бетона // Строительные материалы оборудование, технологии XXI века. 2007. №7. С. 16–17.

8. Курбатов В.Л., Лесовик Р.В., Комарова Н.Д., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н. Стеновые блоки из мелкозернистого бетона на основе техногенного песка Северного Кавказа // Строительные материалы. 2006. № 8. № 11. С. 10–11.

9. Алфимова Н.И. Повышение эффективности стеновых камней за счет использования техногенного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №2. С. 56–59.

10. Лесовик Р.В., Ключев С.В. Техногенные пески для производства высококачественного фибробетона // Строительные материалы оборудование, технологии XXI века. 2012. №8. С. 31.

11. Лесовик Р.В., Ключев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках Курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3. С. 41–47.

12. Володченко А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., Жуков Р.В. Попутные продукты горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2005. № 10. С. 79–79.

13. Володченко А.Н., Лесовик В.С., Алфимов С.И., Жуков Р.В., Гаранин В.К. Ячеистые бетоны с использованием попутнодобываемых пород Архангельской алмазодобывающей провинции // Известие вузов. Строительство. 2007. №2. С. 13–18.

14. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К. А. Энергоэффективные газобетоны бетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известие вузов. Строительство. 2012. №3. С. 10–20.

15. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И., Гинзбург А.В. Оценка защитных свойств бетона из композиционных вяжущих по отношению к стальной арматуре // Строительные материалы. 2013. №7. С. 56–58.

16. Шейченко М.С., Алфимова Н.И., Попов М.А., Калатоци В.В. Мелкоштучные изделия на

основе композиционных вяжущих с использованием отходов Кавдорского месторождения // В сборнике: Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения) Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 302-305.

17. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Германия: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2013. 127 с. ISBN 978-3-659-35755-8.

18. Алфимова Н.И., Жерновский И.В., Яковлев Е.А., Юркова Т.Г., Лесовик Г.А. Влияние генезиса минерального наполнителя на свойства композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №1. С. 91–94.

19. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И. Степень гидратации композиционных вяжущих как фактор коррозии арматуры в бетоне // Известие вузов. Строительство. 2013. №1. С. 28–33.

20. Пат. 2465235 Российская Федерация, МПК С04В 28/20, С04В 111/20. Сырьевая смесь для изготовления силикатного кирпича /Алфимова Н.И., Черкасов В.С., Трунов П.В., Шаповалов Н.Н., Попов М.А.// заявитель и патентообладатель Белг. гос. тех. универ. им.

В.Г. Шухова– № 2011125730; заявл. 22.06.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. №30 (П.ч.) – 4 с.

21. Пат. 2389711 Российская Федерация, МПК С04В 04/00, В02С 19/18, В82В 1/00. Способ получения вяжущих для бетонов / Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Лесовик Р.В., Строкова В.В., Шейченко М.С., Трунов П.С. //заявитель и патентообладатель Белг. гос. тех. универ. им. В.Г. Шухова– №2008137823/03; заявл. 29.09.08; опубл. 20.05.10, Бюл. №14 (П.ч.) – 3 с.

22. Пат. 2385301 Российская Федерация, МПК С 04В 7/02 С. Композиционное вяжущее / Лесовик В.С., Хархардин А.Н., Вишневская Я.Ю., Алфимова Н.И., Шейченко М.С., Трунов П.В. // заявитель и патентообладатель Белг. гос. тех. универ. им. В.Г. Шухова– № 2009109034/03; заявл. 11.03.2009; опубл. 27.03.10, Бюл. №9 (П.ч.) – 4 с.

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

24. Носова А.Н., Фомина Е.В. Термоактивация опал-кристоболитовой породы – отхода Коркинского угольного месторождения // Технические науки – от теории к практике. 2013. №24. С. 106-111.