

УДК 691.545

Г. И. Яковлев, доктор технических наук, профессор

К. А. Кисляков, аспирант

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МОЛОТОГО БОЯ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ С НАНОМОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ МЕТАКАОЛИНА И ЭФИРА ПОЛИКАРБОКСИЛАТА

Исследование по использованию молотого кирпичного боя для получения новых строительных материалов на основе цементных вяжущих и добавками высокоактивного метаксаолина с частицами наноразмерного уровня и добавки ETHACRYL.

Ключевые слова: техногенные отходы, кирпичный бой, цементное вяжущее, высокоактивный метаксаолин, эфиры поликарбоксилатов.

На сегодняшний день при производстве бетона наиболее популярным становится применение минеральных добавок, улучшающее технические характеристики бетонной смеси. Немалую их часть составляют пуццолановые добавки. Пуццолановые добавки представляют собой высоко реакционноспособный оксид кремния, получаемый искусственным и природным способами.

Высокую популярность приобрел ультрадисперсный микрокремнезем, добавка на основе отходов металлургического производства [1–4]. Не менее распространенной пуццолановой добавкой является и высокоактивный метаксаолин. Метаксаолин представляет собой искусственный материал, получаемый при термической обработке каолинитов. Применение высокоактивного метаксаолина позволяет не только обеспечить смесям высокую пластичность, но и повысить прочность бетона на ранней стадии [5, 6].

Экономическая и технологическая эффективность использования таких добавок с размером частиц наноразмера на сегодняшний день не подвергается сомнению [7]. Однако механизм взаимодействия мате-

риалов на основе цементного вяжущего и молотого керамического и силикатного боя кирпича с нанодобавками требует дальнейшего исследования [8–12].

В данной работе приведены результаты исследований по использованию техногенных отходов на основе молотого боя керамической кладки. Порошок моделировался из кирпича и раствора толщиной 10 мм. После помола полученный порошок просеивался через сито с диаметром отверстий 1,25 мм.

В качестве вяжущего для приготовления образцов использовался портландцемент марки ПЦ400-ДО. Процентное содержание портландцемента от массы молотого боя кирпичной кладки составляет около 13 %.

Для улучшения прочностных характеристик образцов использовался высокоактивный метаксаолин, производимый ГК «Синерго», и гиперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов Ethacryl HF фирмы Arkema (Франция). Метаксаолин представляет собой материал, получаемый из чистых каолинитов, и состоит из смеси из аморфного кремнезема и глинозема в равных количествах. Основные свойства высокоактивного метаксаолина приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики ВМК-45

Наименование показателя	Ед. изм.	Нормативный документ	Результат испытания
Цвет	–	ТИ 1613.2010	Белый
Насыпная плотность (в рыхлом состоянии)	кг/м ³	ТИ 1613.2010	370–450
Насыпная плотность (в уплотненном состоянии)	кг/м ³	ТИ 1613.2010	450–550
Удельная поверхность	см ² /г	ТИ 1619.2010	16000–18000
Остаток на сите 0043	%	ТИ 1613.2010	<0,1
Массовая доля диоксида кремния, SiO ₂	%	ТИ 1613.2010 (ГОСТ 5382–91)	52–54
Массовая доля оксида алюминия, Al ₂ O ₃	%		>43
Массовая доля оксида железа, Fe ₂ O ₃	%		<0,1
Пуццоланическая активность	мг Са(ОН) ₂ /г	ТИ 1616.2010	>1000
ППП	%	ТИ 1614.2010	<0,8
Ph (30 % водного раствора)	Ед.	ТИ 1616.2010	6,5

Размер образцов составлял 20×20×20 мм. Испытание образцов на прочность производилось на 3, 7, 14 и 28-е сутки после их изготовления. Данные по количественному составу компонентов в образцах приведены в табл. 2.

Результаты испытаний серий образцов цементного бетона с различным содержанием исходных компонентов приведены на рис. 1.

Таблица 2. Процентное содержание компонентов исследуемых образцов

№ серии образцов	Состав образцов, мас. %			Ethacryl HF, % от массы цемента	В/Т
	Цемент	Молотый кирпичный бой	Метаксаолин		
1 (контрольный)	13,1	86,9	0	0,5	0,26
2	13,0	86,6	0,4	0,5	0,26
3	13,0	86,7	0,3	0,5	0,26

По результатам испытаний зафиксировано увеличение прочности на 28-е сутки у образцов серий, содержащих высокоактивный метакеолин (серии № 2, 3), по сравнению с результатами контрольных образцов (серия № 1). Увеличение прочности образцов серии № 2 и 3 по сравнению с контрольными образцами составило в 1,1 и 1,2 раза соответственно. Использование метакеолина позволяет ускорить набор прочности в первые три дня в 1,5 раза. Ускоренный набор прочности образцов с метакеолитом наблюдается вплоть до двух недель. На пятнадцатые сутки увеличение прочности на сжатие образцов серии № 2 составляет на 26 %, а серии № 3 – на 22 % по сравнению с контрольной серией № 1. В дальнейшем, метакеолин не оказывает влияния на скорость набора прочности. С пятнадцати до двадцати восьми суток

графики набора прочности образцов всех трех серий практически параллельны.

Для оценки влияния высокоактивного метакеолина на структуру цементного вяжущего была исследована микроструктура образцов на растровом электронном микроскопе Phenom G2 pure (рис. 2, 3).

Сопоставляя микроструктуры образцов (рис. 2, а, б и рис. 3, а, б), следует отметить наличие более крупных образований для образцов с добавкой метакеолина. Обладая высокой поверхностной активностью, наночастицы метакеолина служат центрами кристаллизации при затворении элементов связующего вещества. Наночастицы метакеолина, благодаря адсорбции, создают матрицы с преобразованием структуры и прочностных характеристик материала, положительно влияющие на плотность и прочность материала.

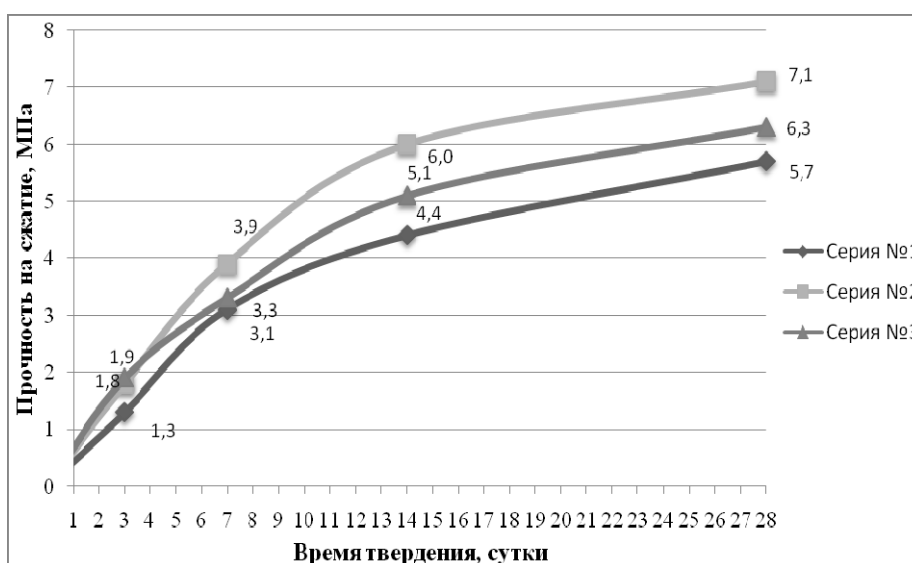


Рис. 1. График зависимости прочности на сжатие от времени твердения серий образцов

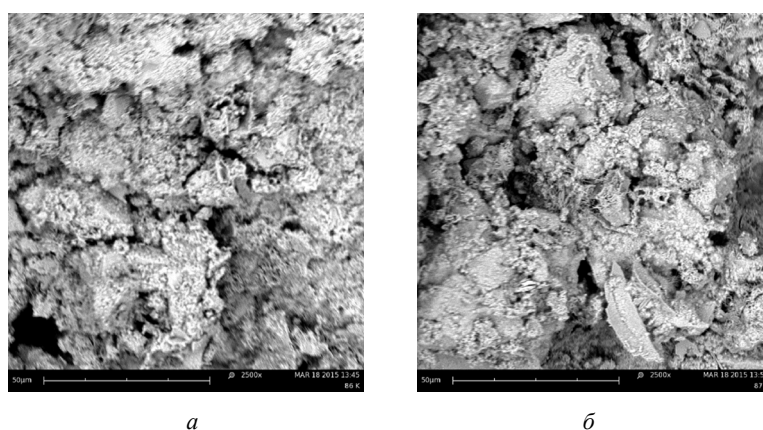


Рис. 2. Микроструктура образцов (x2500): а – образец серии № 1 (цемент – 13,1 %, бой кирпича – 86,9 %); б – образец серии № 3 (цемент – 13,0 %, бой кирпича – 86,7 %, метакеолин – 0,3 %)

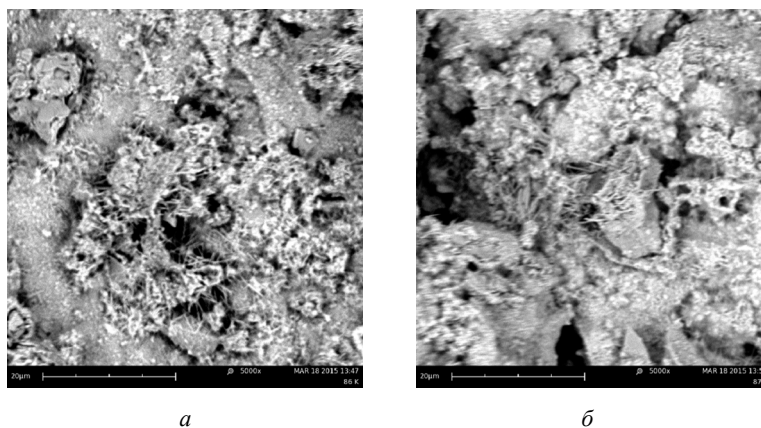


Рис. 3. Микроструктура образцов ($\times 5000$): а – образец серии № 1 (цемент – 13,1 %, бой кирпича – 86,9 %); б – образец серии № 3 (цемент – 13,0 %, бой кирпича – 86,7 %, метаксаолин – 0,3 %)

Заключение

Использование высокоактивного метаксаолина в качестве добавки ускоряет процесс набора прочности на начальной стадии твердения и позволяет увеличить прочность материала на конечном этапе.

Высокоактивный метаксаолин позволяет снизить расход цементного вяжущего с увеличением прочностных характеристик строительного материала.

Применение техногенных отходов из молотого боя керамического кирпича с активной минеральной пуццолановой добавкой в виде высокоактивного метаксаолина позволяет расширить сырьевую базу строительных материалов и решить проблему переработки техногенных отходов.

Библиографические ссылки

1. Изряднова О. В., Сычугов С. В., Полянских И. С., Первушин Г. Н., Яковлев И. Г. Полифункциональная добавка на основе углеродных нанотрубок и микрокремнезема для улучшения физико-механических характеристик гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Строительные материалы. – 2015. – № 2. – С. 63–67.
2. Роль микрокремнезема в структурообразовании цементной матрицы и формировании высолов в вибропрессованных изделиях / А. И. Полигаева, Н. И. Елисеев [и др.] // Строительные материалы. – 2015. – № 5. – С. 49–55.
3. Яковлев Г. И., Кисляков К. А. Влияние наномодифицирующей добавки на основе продукта металлургического производства и эфира поликарбоксилата на прочностные характеристики образцов из молотого боя кирпичной кладки // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1. – С. 211–213.
4. Яковлев Г. И., Кисляков К. А. Использование молотого боя кирпичной кладки для производства цементных бетонов с наномодифицирующей добавкой на основе про-

дукта металлургического производства // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1. – С. 121–126.

5. Захаров С. А., Калачик Б. С. Высокоактивный метаксаолин – современный минеральный модификатор цементных систем // Строительные материалы. – 2007. – № 5. – С. 56–57.

6. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z., Osin Y. N., Naumkina N. I., Gubadullina A. M., Yakovlev G. I., Shaybadullina A. V. Solidification of nitrate solutions with alkali-activated slag and slag-metakaolin. Journal of Nuclear Materials.

7. Хозин В. Г., Абдрахманова Л. А., Низамов Р. К. Общая концентрационная закономерность эффектов наномодифицирования строительных материалов // Строительные материалы. – 2015. – № 2. – С. 25–33.

8. Кисляков К. А., Яковлев Г. И. Бой кирпича как исходное сырье для производства строительных материалов // Строительная наука и производство глазами молодых : материалы научно-технической конференции молодых ученых инженерно-строительного факультета (11–12 февраля 2014 г., Ижевск). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. – С. 58–60.

9. Kishlyakov K. A. The use of scrap brick for cement concrete production. "Fourth forum of young researchers" In the framework of International Forum "Education Quality – 2014" – April 23, 2014, Izhevsk, Russia. – P. 25–26.

10. Соколов А. А. Композиционные шлакощелочные вяжущие с добавками молотого боя керамического кирпича, растворы и бетоны на их основе : автореф. ... канд. техн. наук. – Казань, 2006. – 21 с.

11. Халиуллин М. И., Рахимов Р. З., Гайфуллин А. Р. Композиционные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости с применением керамзитовой пыли в качестве активной минеральной добавки // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий : Сб. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. – Казань, 2010. – С. 30–35.

12. Муртазаев А. Ю., Батаев Д. К.-С., Абуханов А. З., Хадизов В. Х. Формирование себестоимости строительных компонентов, полученных с использованием керамического кирпичного боя // Экономические науки, 2012. № 2. – С. 100–103.

G. I. Yakovlev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU
K. A. Kislyakov, Post-graduate, Kalashnikov ISTU

Building materials based on brick scrap with nanomodifying additive based on metakaolin and polycarboxylate ether

The paper presents the research on application of milled brick scrap to obtain new construction materials based on cement binding agents and metakaolin additives with nanoparticles and Ethacryl additives.

Keywords: technological waste, scrap brick, cement binder, metakaolin, polycarboxylate ether.