

ПАРАМЕТРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭПИКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

vvstrokova@gmail.com

**Строкова В. В., д-р техн. наук, проф.,
Огурцова Ю. Н., канд. техн. наук,
Боцман Л. Н., канд. техн. наук, доц.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В статье рассмотрены принципы регулирования процесса эпикристаллизационного модифицирования с использованием активных гранулированных компонентов на основе сырья различного генетического типа. Рассмотрены условия формирования максимального объема активированных функциональных систем для направленного эпикристаллизационного модифицирования кристаллической матрицы.

Ключевые слова: кристаллическая матрица, эпикристаллизационное модифицирование, кремнеземное сырье, коэффициент активности, гранулированный наполнитель.

В настоящее время направлению, связанному с поиском альтернативных способов модификации цементных систем с использованием, в том числе техногенного сырья, для улучшения физико-механических свойств и повышения устойчивости строительных материалов в агрессивных условиях посвящено значительное количество работ в области строительного материаловедения [1–3]. В указанных работах значительное внимание уделяется исследованию влияния особенностей сырьевых материалов, режимов получения модифицирующих компонентов на их функциональные характеристики, а также макро- и микроструктурные особенности системы «модифицирующий компонент – вяжущее». Ключевыми направлениями исследований за рубежом являются: эффективная утилизация промышленных отходов; установление критериев выбора и оптимальных условий подготовки сырьевых материалов для снижения средней плотности и теплопроводности, повышения прочности и водостойкости композитов; разработка принципов объемной и поверхностной гидрофобизации изделий [4–6].

В данной работе для улучшения физико-механических свойств и повышения устойчивости строительных материалов в агрессивных условиях предлагается метод объемного пролонгированного модифици-

рования кристаллической матрицы, реализуемый путем использования активного компонента на основе природного и техногенного кремнеземного сырья [7].

Учитываемыми параметрами эпикристаллизационного модифицирования при использовании активного заполнителя выступают: исходные (нерегулируемые) – активность кремнеземного сырья, определяемая его генетическими особенностями; регулируемые – количество щелочного активатора, размер и количество активного гранулированного компонента, материал оболочки; результирующие – силикатный модуль и объем образующегося раствора полисиликатов натрия.

В ходе исследований проводилась качественная и количественная оценка влияния состава и свойств активного компонента на эффективность его функционирования с учетом генетических особенностей кремнеземного сырья.

Для выявления влияния вышеуказанных факторов на эффективность эпикристаллизационного модифицирования строительных композитов был приготовлен активный компонент на основе кремнеземного сырья различного генетического типа. Стоит отметить, что активность используемого кремнеземного сырья значительно влияет на структурообразование при эпикристаллизационном модифицировании. При изменении сырья, а, следовательно, силикатного модуля и объема образующегося раствора, меняется и его воздействие на цементно-песчаную матрицу, в т.ч. степень ее пропитки.

По результатам исследования возможности регулирования процесса эпикристаллизационного модифицирования кристаллической матрицы установлено, что для достижения оптимальных значений радиуса пропитки полисиликатами натрия, содержание щелочи в составе ядра не должно превышать 30 %, диаметр гранул – 5–6 мм, содержание активного компонента – около 50 % по объему [8].

Экспериментально доказано, что объемная пропитка при использовании активного компонента выступает примером некоторых процессов техногенного метасоматоза – процесса замещения фаз с изменением химического состава, формирования новых парагенезисов, преобразования свойств конечного материала.

При оптимальной пропитке модифицирующим раствором микроструктура является более плотной и однородной, поверхность зерен покрыта микро- и наноразмерными новообразованиями различной морфологии. В случае же минимального количества активного агента микроструктура является рыхлой и дефектной, с четко выраженными границами контакта цементной матрицы и зернами заполнителя [8].

По результатам исследования предложен механизм структурообразования в системе «цементное вяжущее – активный компонент». Теоретические основы апробированы при использовании активного компонента на основе природного (генетический тип – осадочное хемогенное) и техногенного (генетические типы – хемогенное, пирогенное) кремнеземного сырья.

Нерастворимая оболочка заполнителя на первом этапе в результате капсулирования активной смеси ядра исключает возможность нарушения процесса гидратации цемента. Происходит адгезия цементного камня к материалу оболочки, активная смесь ядра остается инертной, и к моменту окончания данной стадии композит имеет плотную непористую структуру.

На втором этапе для формирования активированных функциональных систем необходимо термическое воздействие. Щелочная термоактивация кремнеземного сырья в составе активного гранулированного компонента приводит к формированию раствора полисиликатов натрия. Через трещины в оболочке гранул данный раствор из ядра активного компонента переходит в перколяционный кластер, в данном случае – бетонную матрицу. Происходит два параллельных процесса: формирование пор на месте ядер гранул активного компонента, заполнение пор кристаллической матрицы раствором полисиликатов натрия. Объем пор, сформированных активным компонентом, равен разнице объема активного компонента, объема плотной оболочки порового пространства и объема непрореагировавшего кремнеземного вещества.

Использование предложенного механизма позволит определять зависимость пористости композита от характеристик используемого кремнеземного сырья, в т.ч. его генетического типа.

Установлена зависимость функционирования активного компонента от минерального состава и удельной поверхности кремнеземного сырья, соотношения «кремнеземный компонент – щелочь» в составе ядра. В качестве параметров эффективности функционирования активного компонента были приняты: активность кремнеземного сырья от времени помолы; потеря массы активного компонента различного состава после термической обработки в модельных системах.

Исходя из состава и физико-механических особенностей кремнеземного сырья установлено рациональное значение удельной поверхности, необходимое и достаточное для взаимодействия в ядре активного компонента при тепловлажностной обработке. Оно составляет для опоки и золы-уноса – 2000 и 500 м²/кг соответственно (рис. 1).

Установлены особенности поведения активного компонента в це-

ментной системе. На количество прореагировавшего в ядре активного компонента вещества влияет рН среды, что подтверждается большей потерей массы гранул в среде шлакопортландцемента (рис. 2).

На свойства активного компонента, помимо состава ядра, оказывает влияние и состав оболочки. От состава и свойств оболочки зависят прочность и водостойкость заполнителя (табл. 1), а также свойства образующихся полисиликатов, а, следовательно, и свойства бетонной матрицы.

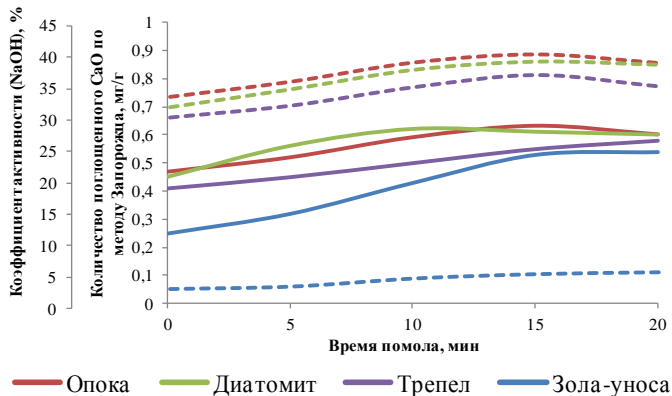


Рисунок 1 – Зависимость характеристик кремнеземного сырья от времени помола:

— количества поглощенного CaO по методу Запорожца;
 — коэффициента активности

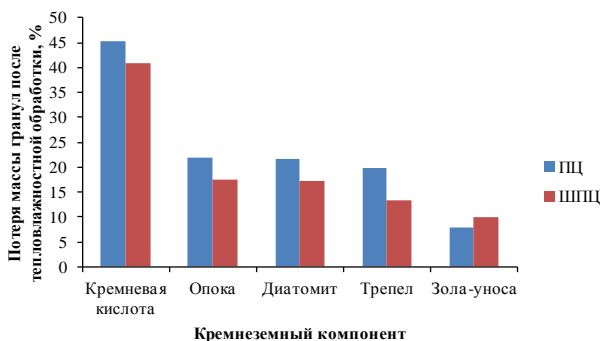


Рисунок 2 – Потеря массы активного компонента после тепловлажностной обработки в модельных средах

Рассмотрена возможность использования в качестве сырьевых компонентов оболочки гашеной и негашеной извести, мела, портландцемента. Экспериментально обоснована эффективность использования портландцемента с добавкой шлака в качестве оболочки активного компонента. При формировании оболочки заполнителя в процессе грануляции силикат натрия в присутствии шлака, являющегося отвердителем, образует нерастворимые соединения, способствующие: пролонгации действия активного компонента и увеличению его адгезии к кристаллической матрице.

Таблица 1 – Свойства активного компонента в зависимости от состава

№ п/п	Состав оболочки, кг/м ³					Состав ядра, кг/м ³				Физико-механические показатели			
	Известь негашеная	Известь гашеная	Мел	Портландцемент	Натрий кремнефтористый	Кремнеземный компонент		NaOH	Жидкое стекло	Средняя плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Водопоглощение, % масс.	Прочность при сдвигании в цилиндре, МПа
						Опока Респ. Мордовия	Трепел Брянская обл.						
1	–	192	–	–	13,4	681	–	116,6	115,4	995	768	20,1	0,85
2	111	–	–	–	7,77	650	–	113,2	111	1114	861	22,3	0,90
3	–	–	313,5	–	21,9	531	–	85,9	87,4	1053	813	19,8	0,96
4	–	–	–	193,8	–	617,6	–	100,6	98,8	1123	867	7,2	1,47
5	–	177	–	–	13,2	–	660	111,9	111,9	981	758	20,2	0,85
6	113	–	–	–	8,4	–	618,2	105,5	105,5	1102	851	22,1	0,90
7	–	–	311,8	–	23,1	–	539,4	88,7	88,7	1045	807	19,7	0,96
8	–	–	–	198,8	–	–	603,3	96,5	96,5	1130	873	7,1	1,47
9	–	–	–	193,5	–	617,3	–	99,7	99,8	1107	861	5,01	1,42
10	–	–	–	198,7	–	–	602,9	95,5	95,4	1121	869	5,05	1,45

Установлено влияние насыпной плотности материала оболочки на фракционный состав получаемого заполнителя. При увеличении насыпной плотности происходит смещение среднего размера гранул из диапазона 2,5–5 мм в диапазон 0,63–2,5 мм, в обратном же случае, при

уменьшении насыпной плотности, в основном образуются гранулы диаметром больше 5 мм (табл. 2).

Таблица 2 – Гранулометрический состав активного компонента с различными оболочками

Фракция заполнителя, мм	Содержание гранул, %			
	известь негидратированная ($\rho_{\text{нас}}=1000$ кг/м ³)	известь гидратная ($\rho_{\text{нас}}=500$ кг/м ³)	мел ($\rho_{\text{нас}}=1100$ кг/м ³)	цемент ($\rho_{\text{нас}}=1500$ кг/м ³)
0,63<d<2,5	24,9	18,8	27,5	39,8
2,5<d<5	45,1	35,4	40,3	30,2
d>5	30	45,8	32,2	30
ВСЕГО	100	100	100	100

Предложенные принципы регулирования процесса эпикристаллизационного модифицирования с использованием активных гранулированных компонентов на основе сырья различного генетического типа, учитывающие необходимость формирования максимального объема активированных функциональных систем для направленного эпикристаллизационного модифицирования кристаллической матрицы могут быть применены при проектировании строительных материалов на основе неорганических вяжущих, отличающихся улучшенными эксплуатационными характеристиками за счет инфильтрационного метасоматического преобразования кристаллической матрицы активированными функциональными системами.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08024 «р_офи_м», с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Логанина В.И., Пышкина И.С. Влияние режима синтеза добавки на основе гидросиликатов на структуру и свойства известковых отделочных сухих строительных смесей // Научное обозрение. 2015. № 17. С. 78–83.
2. Алфимова Н.И., Жерновский И.В., Яковлев Е.А., Юракова Т.Г., Лесовик Г.А. Влиянии генезиса минерального наполнителя на свойства композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010.

№ 1. С. 91–94.

3. Яковлева М.Я. Защита строительных сооружений от водно-солевых нагрузок // Сухие строительные смеси. 2015. № 4. С. 31–34.
4. Volland S., Brötz J. Lightweight aggregates produced from sand sludge and zeolitic rocks // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 85. Pp. 22–29.
5. Mueller A., Schnell A., Ruebner K. The manufacture of lightweight aggregates from recycled masonry rubble // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 98. Pages 376–387.
6. Haq E.U., Padmanabhan S.K., Karim M.R.A., Licciulli A. Setting and curing of mortars obtained by alkali activation and inorganic polymerization from sodium silicate and silica aggregate // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 105. P. 291–296.
7. Лесовик В.С., Мосъпан А.В., Беленцов Ю.А., Ряпухин Н.В. Силикатные изделия на гранулированных заполнителях для сейсмостойкого строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 62–65.
8. Строкова В.В., Огурцова Ю.Н., Боцман Л.Н. Влияние характеристик активного компонента на степень пропитки мелкозернистого бетона при эпоксидно-кремнекислотном модифицировании // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 97–101.