

reactive aggregates on the intensity of alkaline corrosion flow in the contact zone "alkaline cement alkaline reaction aggregates" to establish ways to control the

physical and chemical processes in this zone in order to ensure high durability of concrete.

Key words: alkaline corrosion of concrete, alkaline-reactive aggregates, durability of concrete.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-98-4-230-239

УДК 691.5

Анопко Д.В., Гончар О.А., Кобылянский И.З.

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
(Воздухофлотский пр-т, 31, Киев, 03037, Украина; e-mail: anopko1973@gmail.com, oagon@ukr.net,
sheriffxq@gmail.com; orcid.org/0000-0002-2585-2512, orcid.org/0000-0002-1071-7553)*

КОМПОЗИЦИОННЫЙ РАДИАЦИОННОЗАЩИТНЫЙ ЦЕМЕНТ ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМО- И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬЮ

Показано, что введение добавки, состоящей из смеси аморфного микрокремнезема и тонкодисперсного железа, увеличивает сопротивляемость цементного камня деструктивному действию температуры. Достигнутый положительный результат объясняется управлением процессом трещинообразования, где аморфный микрокремнезем с одной стороны, обладая невысокой плотностью и прочностью, выполняет роль демпфирующей добавки, действующей преимущественно при 20°C, а с другой - является достаточно химически активным и связывает образующуюся при твердении цементного камня свободную известь, выполняя роль преграды для развивающейся трещины. Введение тонкодисперсного железа приводит к образованию микротрещинообразной структуры, которая обеспечивает высокие прочностные характеристики композиции при повышенных температурах. Оптимальная дисперсность железного порошка составляет 0,08...0,16 мкм. Совместное введение этих добавок позволило получить цементный камень с микротрещинообразной крупно-фрагментарной структурой, обладающего стабильными показателями физико-механических свойств в интервале температур 20...300°C. Размер фрагментов составляет от 10 до 20 мм².

Ключевые слова: радиационнозащитный, трещиностойкость, демпфирующая добавка, микротрещиноватая структура.

Вступление. В связи с широким использованием атомной энергии, развитием радиохимических производств, широкого применения радионуклидов в различных областях народного хозяйства особо актуальна проблема создания радиационнозащитных материалов на основе сырья Украины. Такие материалы в соответствии с требованиями современных ядерных технологий должны содержать высокое количество химически связанной воды при температурах до 300...500°C, обладать повышенной термостойкостью и быть безвредными.

Анализ литературных источников и постановка проблемы. Проведенный анализ влияния ионизирующего облучения на свойства бетона [1] показал, что радиационнозащитные свойства бетона зависят от его состава: выбранных вяжущих и заполнителей.

Комплексное повышение термостойкости искусственного камня возможно за счет: связывания свободной

извести, выделяющейся при твердении портландцемента [2, 3]; управление трещинообразованием (создание структуры с микротрещинами), создание центров релаксации внутренних напряжений в композите, как при комнатных, так и при повышенных температурах путем введения демпфирующих добавок [2].

При использовании в качестве демпфирующей добавки микрокремнезема возникает проблема стабильного совместного существования высокоосновного гидросульфогидроксида кальция и низкоосновных гидросиликатов кальция. Исследованиями [4, 5] установлено, что образование высокоосновных комплексных соединений в присутствии кремнезема зависит от активности и количества последнего.

Целью работы является получение комплексной добавки полифункционального действия, позволяющая не только связывать избыточное количество извести, но и управлять процессом

трещинообразования, для использования ее в составе радиационнозащитных цементов с повышенными термо- и трещиностойкостью.

Материалы и методы исследований. Исследования стабильного совместного существования высокоосновного гидросульфогидроксида кальция и кремнезема производили по методике, предполагающей образование в ней одной грамм-молекулы высокоосновного комплексного соединения и трех грамм-молекул гидросиликата кальция типа $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Целесообразность рассмотрения такой модели, содержащей три грамм-молекулы одноосновного гидросиликата кальция, обосновывается тем, что на первоначальных этапах твердения цемента, образуются высокоосновные гидросиликаты кальция с основностью s/s близкой к 3-м, которые затем понижают свою основность до 1 [5, 6]. В этом случае массовое соотношение в модели между Fe_2O_3 и SiO_2 близко к 1. Если в такой модели будет наблюдаться формирование высокоосновных гидросульфогидроксида кальция, то при меньшем содержании микрокремнезема их формирование будет происходить тем более.

Влияние рассматриваемых добавок на термо- и трещиностойкость цементного камня оценивали по падению прочности и увеличению деформаций усадки после высокотемпературной сушки при 105 и 300°C. А также проводили рентгенофазовый, дифференциально-термический.

Для исследования влияния добавки аморфного микрокремнезема на формирование структуры цементного камня были изготовлены образцы кубики $2 \times 2 \times 2$ см, кубы $7 \times 7 \times 7$ см и балочки $4 \times 4 \times 16$ см.

В качестве исходных компонентов были использованы: портландцемент М400, смесь оксидов 2-х и 3-х валентного железа после комплексной механо-химической активации в количестве 5% от массы вяжущего, и микрокремнезем. Содержание в цементе последней добавки было взято в количестве 5, 10, 15% от массы вяжущего.

В качестве эталона сравнения была принята композиция на основе портландцемента. В течение 7 суток образцы хранились во влажной среде ($W=100\%$). После чего проводились испытания образцов для определения физико-механических свойств материала. Составы композиций, а также результаты физико-механических испытаний приведены в таблицах 1, 2.

Результаты исследований. Деформации расширения и усадки представлены в таблице 1, кинетика изменения прочности цементного камня - в таблице 2.

Анализ результатов физико-механических испытаний (таблица 1, 2), выполненный с учетом комплекса требований, предъявленных к исследуемым составам, в том числе минимальное изменение деформации усадки при обжиге до 300°C и минимальный сброс прочности при нагреве до 300°C - показал, что композиция на основе портландцемента обладает значительными деформациями усадки во времени (таблица 1, состав 1). В результате сушки при 105 и 300°C (таблица 1, состав 1) эти деформации увеличились. Отличаясь достаточно высокими прочностными характеристиками после воздушно-влажностного твердения (таблица 1, состав 1), в результате высокотемпературной сушки отмечено значительное снижение прочности материала.

Согласно данным рентгенофазового анализа после 7 суток твердения портландцемента в составе продуктов гидратации (рисунок 1, кр 1) отмечены рефлексы с межплоскостными расстояниями ($d=0.493; 0.310; 0.263; 0.193$ нм), которые, по данным [7, 8], можно отнести к портландиту, пики с $d= 0.334; 0.301; 0.275$ нм, к CSH(B).

Также отмечены рефлексы, которые согласно данным [7, 8, 9], можно отнести к этрингиту ($d=0.388; 0.301; 0.277; 0.262; 0.218; 0.180$ нм) (рисунок 1, кр. 1).

Образование указанных соединений также подтверждается данными дифференциально-термического анализа (рис. 2, кр. 1).

Таблиця 1 - Результаты определения деформации усадки и расширения композиций с добавкой аморфного микрокремнезема при твердении в воздушно-влажностных условиях

№ п/п	Состав композиции масс., %	Т.Н.Г. %	Деформации расширения (усадки) на 7-е сутки, мм/м				
			при нормальном твердении, сут.			после сушки при темпер., °С	
			1	3	7	105	300
1	Портландцемент - 100	23.3	0.031	0.00	-0.187	-4.68	-8.25
2	Портландцемент - 95 Аморфный микрокремнезем - 5	21.8	-0.01	-0.08	-0.25	-3.1	-6.2
3	Портландцемент - 90 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5	25.3	0.05	0.15	0.2	-2.1	-4.3
4	Портландцемент - 85 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 морфный микрокремнезем - 10	26.2	0.0	0.0	0.05	-2.5	-5.1
5	Портландцемент - 80 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 15	28.5	-0.1	-0.15	-0.5	-3.1	-5.7

Таблиця 2 - Результаты определения прочности вяжущих композиций на основе модифицированного вяжущего и добавки аморфного микрокремнезема.

№ п/п	Состав композиции масс., %	Т.Н.Г., %	Прочность материала на сжатие после 7 суток хранения и сушки при темпер., °С		
			20	105	300
			1	Портландцемент - 100	93.75
2	Портландцемент - 95 Аморфный микрокремнезем - 5	104.6	43.2	43.7	45.2
3	Портландцемент - 90 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5	126.6	45.0	58.25	57.5
4	Портландцемент - 85 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 10	118.5	42.25	53.75	50.0
5	Портландцемент - 80 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 15	114.25	40.0	47.25	45.75

Образование гидросиликатов кальция и этtringита, по данным [7, 8, 9], подтверждается наличием на кривой ДТА эндоэффекта в области температур 100...200°С. Наличие эндоэффекта при температуре 500°С, по данным [7, 8, 9], можно отнести к дегидратации Ca(OH)₂.

По данным микроскопического анализа на поверхности образцов на основе портландцемента после 7 суток твердения обнаружены трещины шириной (5...7)·10⁻² мм. Появление этих трещин объясняется протеканием процессов усадки и возникновением в материале

внутренних напряжений. После сушки при температуре 105°С в материале отмечено увеличение количества микротрещин и их рост. Ширина трещин увеличивается и достигает 0,15 ... 0,3 мм.

На поверхности образцов, подвергнутых высокотемпературной сушке при 300°С, трещины имеют значительные размеры: шириной порядка 0,3...0,4 мм и длиной до 50...60 мм. Характер развития трещин - хаотичный, отмечено образование сколов и раковин.

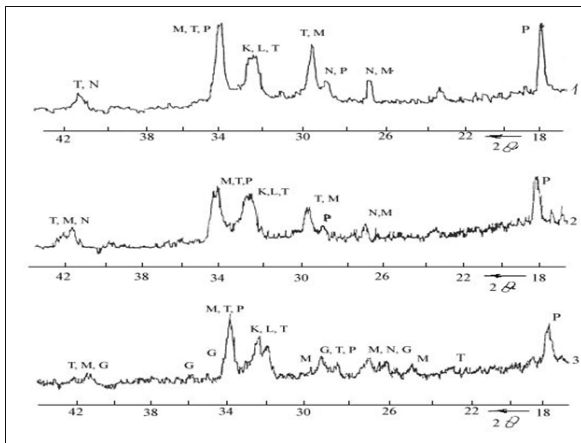


Рис. 1. Рентгенограммы искусственного камня на основе вяжущих композиций следующего состава: 1 – портландцемент; 2 - портландцемент + 5% аморфный микрокремнезем; 3 - портландцемент + 5% активированная смесь оксидов 2-х и 3-х валентного железа + 5% аморфный микрокремнезем

Введение в композицию на основе портландцемента добавки аморфного микрокремнезема в количестве 5% способствует увеличению усадки при воздушно-влажностном твердении в течение 7 суток.

В то же время после высокотемпературной сушки при 105 и 300°C (таблица 1, состав 2), отмечено уменьшение деформаций усадки, по сравнению с композицией на чистом портландцементе (таблица 1, состав 1). Введение добавки аморфного микрокремнезема способствует стабилизации прочностных характеристик цементного камня в исследуемом интервале температур (20 ... 300)°C (таблица 2, состав 2).

Это обусловлено образованием в составе продуктов твердения повышенного количества тоберморитоподобных гидросиликатных фаз. Образование этих соединений подтверждается данными физико-химического анализа. Так, согласно данным рентгенофазового анализа (рис. 1, кр. 2) отмечено снижение степени кристалличности $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Интенсивность пиков относящихся к $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с $d = 0.493$; 0.310 ; 0.263 нм - уменьшилась. Увеличилась интенсивность пиков с межплоскостными расстояниями $d = 0.334$; 0.301 ; 0.275 нм, которые по данным [2, 9], можно отнести к $\text{CSH}(\text{B})$. Также отмечены рефлексы с $d = 0.388$; 0.301 ; 0.277 ; 0.262 ; 0.218 ;

0.180 нм (рис. 1, кр. 2), которые, согласно данным [7, 8], можно отнести к этtringиту. Общий фон кристаллических новообразований несколько аморфизирован, по сравнению с фоном на рентгенограмме исходной композиции без добавки микрокремнезема (рис. 1, кр. 1).

Образование указанных соединений также подтверждается данными дифференциально-термического анализа (рис. 2, кр. 2). Так, образование этtringита и низкоосновных гидросиликатов кальция подтверждается наличием на кривой ДТА эндоэффектов в области температур 100 ... 200°C. Наличие эндоэффекта при температуре 500°C (рис. 2, кр. 2), по данным [7, 8], можно отнести к дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Интенсивность этого эндоэффекта значительно снизилась по сравнению с аналогичным эндоэффектом у эталона (рис. 2, кр. 1).

В результате микроскопического анализа поверхности образцов композиции на основе портландцемента и 5% добавки аморфного микрокремнезема установлено, что после 7 суток твердения в воздушно-влажностных условиях на поверхности образцов отмечено появление отдельных небольших микротрещин шириной $(2...3) \cdot 10^{-2}$ мм, образование которых, по данным [7, 8], вызвано деформациями усадки продуктов гидратообразования. После сушки при температуре 105°C отмечен рост трещин, увеличение их количества и размеров. Так, ширина трещин увеличилась до $(3...4) \cdot 10^{-2}$ мм, а длина до 8...10 мм, однако характер их развития изменился по сравнению с эталоном. Отмечено уменьшение количества трещин, их размеров по сравнению с образцами на портландцементе после сушки при 105°C. После высокотемпературной сушки при 300°C, ширина трещин $(20...30) \cdot 10^{-2}$ мм, а длина увеличивается до 20...25 мм. Достижимый положительный эффект, очевидно, объясняется демпфирующим действием микрокремнезема.

Таким образом, введение добавки аморфного микрокремнезема с одной стороны, значительно отодвигает момент появления видимой трещины, с другой -

изменяет ее морфологию, вызывает ветвление и затухание.

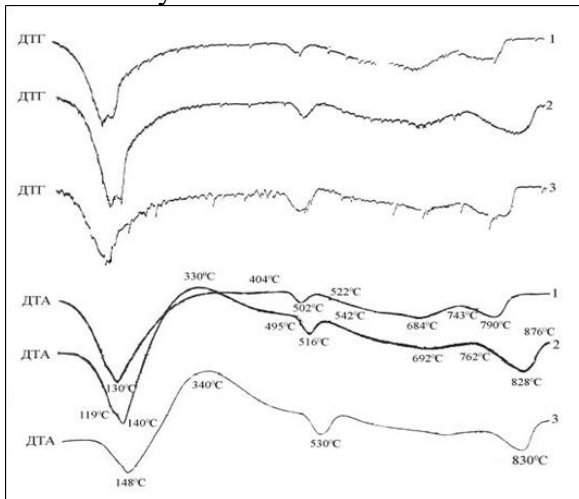


Рис. 2. Дериватограммы искусственного камня после 7 суток твердения на основе вяжущих композиций следующего состава: 1 – портландцемент; 2 - портландцемент + 5% аморфный микрокремнезем; 3 - портландцемент + 5% активированная смесь оксидов 2-х и 3-х валентного железа + 5% аморфный микрокремнезем

При введении добавки аморфного микрокремнезема в композицию на основе портландцемента и механоактивированной смеси оксидов 2-х и 3-х валентного железа в количестве 5% от массы вяжущего, в композиции отмечены наименьшие деформации усадки в интервале температур (20...300)°С (табл. 1, состав 3). Наблюдается повышение прочности материала (табл. 2, сост. 3) по сравнению с прочностью эталона (табл. 2, состав 1) в интервале 105 ... 300°С.

Объяснить повышение прочности композиции в интервале температур (20...300)°С позволяют особенности фазового состава продуктов твердения цементного камня.

Согласно данным рентгенофазового анализа (рис. 1, кр. 3) после 7 суток твердения в составе продуктов гидратации такой композиции отмечены рефлексы с $d=0.388; 0.301; 0.277; 0.262; 0.228; 0.221; 0.18$ нм, которые по данным [7-9], можно отнести к образованию этtringитоподобных высокоосновных соединений типа гидросульфалоуминатов и ферритов кальция. Также в композиции идентифицирован CSH(B) с $d=0.334; 0.301; 0.275$ нм. Интенсивность пиков этtringита и

CSH(B) по сравнению с эталоном (чистый портландцемент), увеличилась, что очевидно, связано с повышением содержания этих соединений в продуктах гидратации модифицированного цемента.

Повышенное содержание железистых этtringитоподобных соединений и низкоосновных гидросиликатных фаз обусловило высокие физико-механические свойства композиции (табл. 1, 2, состав 3). Также в составе продуктов гидратации такой композиции отмечены рефлексы с $d=0.493; 0.310; 0.263$ нм, которые, согласно данным [7-9], можно отнести к Ca(OH)₂. Интенсивность этих пиков по сравнению с эталоном (рис. 1, кр. 1), а также композиции с добавкой аморфного микрокремнезема (рис. 1, кр. 2) ниже, что говорит об уменьшении количества несвязанного портландита в цементном камне. Общий фон кристаллических новообразований несколько аморфизирован по сравнению с фоном рентгенограмме исходной композиции без добавки микрокремнезема (рис. 1, кр. 1).

Результаты рентгенофазового анализа подтверждают данные дифференциально-термического анализа (рис. 2, кр. 3). Подтверждением образования этtringитоподобных соединений на основе оксидов железа может служить смещение максимума эндоэффекта в область более высоких температур (150°С по сравнению с 130°С) (рис. 2, кр. 3), что согласуется с данными [7-9], для высокоосновного гидросульфферрита кальция.

При введении в состав композиции добавки аморфного микрокремнезема в количестве 10...15% от массы вяжущего, в цементном камне, твердевшем в воздушно-влажностных условиях, обнаружены деформации усадки (табл. 1, составы 4, 5). Это объясняется увеличением величины ТНГ при введении повышенного количества аморфного микрокремнезема, а также формированием большого количества тоберморитовых гидросиликатных фаз, обладающих по данным [5, 6], значительными деформациями усадки. Отмечается снижение прочности при нагреве до 300°С (табл. 3, составы 4, 5). Это свидетельствует о существовании

оптимума содержания в цементе демпфирующей добавки.

Результаты микроскопического анализа поверхности образцов на основе механоактивированных оксидов железа с добавкой 5% аморфного микрокремнезема показали, что на поверхности образцов, хранившихся при температуре 20°C в воздушно-влажностных условиях в течение 7 суток, отмечено образование отдельных зародышевых трещин шириной $(1...3) \cdot 10^{-2}$ мм и длиной до 2...3 мм.

Характер распространения этих трещин - хаотичный. Общее число образовавшихся трещин значительно меньше, чем в образцах на основе портландцемента и с добавлением микрокремнезема. Это связано с протеканием процессов расширения в композиции на основе механоактивированной смеси оксидов железа. В интервале температур 20-100°C на поверхности образцов в результате температурной усадки зафиксировано образование сети микротрещин. Также в этом интервале температур происходит раскрытие трещин, образовавшихся ранее в процессе твердения цементного камня. Ширина таких трещин $(5...6) \cdot 10^{-2}$ мм.

В диапазоне температур 100...300°C на поверхности образцов отмечен рост трещин, однако характер их распространения по сравнению с эталоном изменился. Отмечено ветвление и затухание развития трещин, что объясняется известным эффектом действия демпфирующих добавок [10, 11].

Исходя из анализа действия демпфирующих добавок, можно заключить, что они обладают пассивным действием, т. е. преграждают путь развивающейся трещине. В то же время при повышенных температурах образуется значительное количество трещин, локализовать развитие которых микрокремнезем не может. Поэтому нужно вводить новую добавку, которая будет управлять процессом трещинообразования при повышенных температурах. К таким добавкам относятся добавки с упругими свойствами.

Применение упругих добавок позволяет изменять направление образующихся трещин, создавая микротрещинообраз-

ную (блочную) структуру [12]. Поэтому было исследовано влияние на свойства цементного камня комплексной добавки на основе аморфного микрокремнезема и химически чистого железа, совмещающей в себе демпфирующие и упругие свойства.

В смесь портландцемента и добавки механоактивированных оксидов железа была введена комплексная добавка на основе 5% аморфного микрокремнезема и тонкодисперсного железа в количестве 5, 10, 15 и 20% от массы вяжущего. Дисперсность химически чистого железа составляла 200 мкм. Анализ результатов физико-механических исследований композиции показал, что в интервале температур 20...105°C происходит небольшой рост прочности материала (табл. 3, состав 2-5). В то же время, отмечено небольшое уменьшение прочности материала в диапазоне температур 100...300°C (табл. 3, состав 2-5). Максимальной прочностью после сушки при 105 и 300°C обладает композиция с 15% железа (табл. 3, состав 4). В то же время, после высокотемпературной сушки при температуре 105 и 300°C (табл. 4, состав 4) отмечены наименьшие деформации усадки с оптимальным количеством железа.

Результаты микроскопического анализа поверхности образцов на основе портландцемента с активированными оксидами железа и комплексной добавки аморфного микрокремнезема с дисперсным железом показали, что на поверхности образцов, хранившихся при температуре 20°C в воздушно-влажностных условиях в течение 7 суток практически отсутствуют трещины. При температуре 105°C на поверхности образцов зафиксировано образование сети микротрещин вокруг зерен железа шириной $(5...6) \cdot 10^{-3}$ мм и длиной $(10...15) \cdot 10^{-2}$ мм.

В результате высокотемпературной сушки при 300°C отмечено образование микротрещин, которые делят объем изделия на отдельные фрагменты. Термические напряжения образуют вокруг зерен железа сеть кольцевых сообщающихся микротрещин шириной до 0.1 мм. Очевидно, на процесс трещинообразования будет оказывать влияние дисперсность упругой добавки.

БУДІВНИЦТВО

Таблиця 3 - Результати визначення прочності вяжучих композицій з комплексною добавкою на основі аморфного мікрокремнезема і тонкодисперсного заліза.

№ п/п	Состав композиции, масс., %	ТНГ*, %	Прочность материала на сжатие после 7 суток хранения и сушки при температуре, °С		
			20	105	300
1.	Портландцемент - 100	93.7	40.0	43.75	37.5
2.	Портландцемент - 85 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5 Тонкодисперсное железо - 5	129.4	45.0	62.2	58.2
3.	Портландцемент - 80 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5 Тонкодисперсное железо - 10	125.5	47.1	60.1	59.0
4.	Портландцемент - 75 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5 Тонкодисперсное железо - 15	130.9	47.2	63.3	61.8
5.	Портландцемент - 70 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5 Тонкодисперсное железо - 20	124.6	46.3	61.5	57.7
6.	Портландцемент - 65 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5 Тонкодисперсное железо - 25	119.5	47.0	59.2	56.2

*Примечание: Водоцементное отношение композиций соответствует тесту нормальной густоты.

Таблиця 4 - Результати визначення деформації усадки і розширення вяжучих композицій з комплексною добавкою на основі аморфного мікрокремнезема і тонкодисперсного заліза.

№ п/п	Состав композиции, масс., %	Деформации расширения (усадки) на 7-е сутки, мм/м., при				
		нормальном твердении,			температуре, °С	
		сут.			(после сушки)	
		1	3	7	105	300
1.	Портландцемент - 100	0.031	0.00	-0.187	-4.08	-8.25
2.	Портландцемент - 85 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5 Тонкодисперсное железо - 5	0.05	0.16	0.22	-2.0	-4.1
3.	Портландцемент - 80 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5 Тонкодисперсное железо - 10	0.03	0.12	0.2	-1.8	-4.2
4.	Портландцемент - 75 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5 Тонкодисперсное железо - 15	0.02	0.11	0.2	-1.7	-4.0
5.	Портландцемент - 70 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5 Тонкодисперсное железо - 20	0.04	0.12	0.2	-2.2	-4.3
6.	Портландцемент - 65 Механоактивированная смесь FeO+Fe ₂ O ₃ - 5 Аморфный микрокремнезем - 5 Тонкодисперсное железо - 25	0.01	0.13	0.15	-2.0	-4.4

*Примечание: водоцементное отношение композиций соответствует тесту нормальной густоты.

Поэтому было исследовано влияние дисперсности химически чистого железа на физико-механические свойства цементного камня (табл. 4). Так, применение в качестве упругой добавки химически чистого железа крупнозернистых фракций 0,32...0,8 мм (таблица 4, составы 4-7) приводит к снижению прочности материала и вызывает появление неоправданно большого количества микротрещин. Цементный камень имеет мелкофрагментальную структуру, с большим количеством хаотичных трещин.

Применение более тонкодисперсных фракций 0,08 и 0,16 мм, позволяет добиться образования крупно-фрагментарной структуры и обеспечить стабильные

Таблица 5 - Результаты определения прочности вяжущих композиций с добавкой химически чистого железа различной дисперсности.

№ п/п	Состав композиции, мас., %	Прочность материала на сжатие после 7 суток хранения и сушки при температуре, °С в %			
		20	105	300	%
1	Портландцемент - 80 Химически чистое железо фракции 0.064 мм - 20	40.0	47.2	39.5	98.7
2	Портландцемент - 80 Химически чистое железо фракции 0.08 мм - 20	42.5	52.5	55.9	131.8
3	Портландцемент - 80 Химически чистое железо фракции 0.16 мм - 20	41.1	42.5	47.5	115.3
4	Портландцемент - 80 Химически чистое железо фракции 0.32 мм - 20	43.1	43.75	40.0	92.8
5	Портландцемент - 80 Химически чистое железо фракции 0.4 мм - 20	42.5	47.5	37.8	89.1
6	Портландцемент - 80 Химически чистое железо фракции 0.63 мм - 20	40.6	42.5	37.0	91.1
7	Портландцемент - 80 Химически чистое железо фракции 0.8 мм - 20	41.75	46.25	30.3	72.0
8	Портландцемент - 100	40.2	39.5	37.7	93.7

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Показано, что введение добавки, состоящей из смеси аморфного микрокремнезема и тонкодисперсного железа, увеличивает сопротивляемость цементного камня деструктивному действию температуры путем управления процессом трещинообразования, при котором аморфный микрокремнезем, обладая невысокой плотностью и прочностью, выполняет роль демпфирующей добавки, действующей преимущественно при 20°С. В то же время микрокремнезем достаточно химически активен и связывает

прочностные характеристики в диапазоне 20...300°С. Существует и критический размер частиц, ниже которого микротрещины не формируют фрагментарную структуру. Так, в результате использования упругой добавки с дисперсностью 0.064 мм, в цементном камне после сушки при 105 и 300°С, образуются трещины, которые имеют значительные размеры длиной порядка 20...30 мм, и характеризуются хаотичным расположением.

Таким образом, установлен оптимальный размер упругих частиц в цементном камне, повышающий термостойкость материала.

образующуюся при твердении цементного камня свободную известь, выполняя роль преграды для развивающейся трещины. Тонкодисперсное железо, которое вводили совместно с микрокремнеземом, приводит к образованию микротрещинообразной структуры, обеспечивающей высокие прочностные характеристики композиции именно при температурах до 300°С. Определена оптимальная дисперсность железного порошка, которая составляет 0,08...0,16 мм. Совместное введение этих добавок позволило получить цементный камень с микротрещинообразной

крупно-фрагментарной структурой, который имеет стабильные показатели физико-механических свойств в интервале температур 20...300 °С.

В результате проведенных исследований разработана комплексная добавка полифункционального действия, позволяющая не только связывать избыточное количество извести, но и управлять процессом трещинообразования как при комнатных, так и при повышенных температурах. Проведение дальнейших исследований целесообразно в направлении оптимизации состава вяжущей композиции, модификация которой разработанной добавкой позволит получить материалы с заданными свойствами, а именно радиационнозащитные цементы и бетоны на их основе с повышенной термо- и трещиностойкостью. Использование в составе таких вяжущих техногенного сырья, которое может быть представлено как отходами строительного производства [13, 14], так и отходами других отраслей промышленности, позволит не только решить экологические проблемы, связанные с их утилизацией, но и улучшить эксплуатационные свойства полученных материалов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Петрова Т. М., Комохова П.Г., Чибисова Н.П., Тарасов А. В. Радиационностойкий бетон на основе шлакощелочного вяжущего. *Цемент*. 1997. №1. С. 33-35.
2. Комохов П. Г., Грызлов В. С. *Структурная механика и теплофизика легкого бетона*: монография. Вологда: Из-во Вологодского научного центра, 1992. 321с.
3. Ларионова З. М. Влияние вида заполнителя на структурообразование контактной зоны бетонов. *Сб. тр. НИИЖБ «Структурообразование бетона и физико-химические методы его исследования»*. М., 1980. С. 68-72.
4. Кравченко И. В. *Расширяющиеся цементы*. М., 1962. 164 с.
5. Тейлор Х. Ф. У. *Химия цементов*. М., 1969. 560 с.
6. Ларионова З. М., Никитина Л. В., Гарашин В. Р. *Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного камня и бетона*. М.: Стройиздат, 1977. С. 26.
7. Горшков В. С., Тимашев В. В., Савельев В. Г. *Методы физико-химического анализа вяжущих веществ*. М.: Высшая школа, 1984. 335 с.
8. *Минералогические таблицы: справочник* / Е. И. Семенов та ін. М.: Недра, 1981. С. 39.

9. *Index (inorganic) to the powder diffraction file – ASTM*. 1969. Publication PD1S – 1911. American society for testing and materials. York. Pennsylvania, 1969. 216 p.
10. Выровой В. Н. *Физико-механические особенности структурообразования композиционных строительных материалов: дис. докт. техн. наук: 05.23.05*. Л., 1988. 340с.
11. Комохов П. Г. Механико-энергетические аспекты процессов гидратации твердения и долговечности цементного камня. *Цемент*. 1987. № 2. С. 20-22.
12. Кац С. Н. *Высокотемпературные материалы*. М.: Металлургия, 1981. 232 с.
13. Тесленко В.А., Асланова О. Д. Новейшие тенденции технологий переработки и использования вторсырья в строительстве. *Научовий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2018. Т. 92. № 2. С. 118-124.
14. Тесленко В.А. Використання перероблених будівельних матеріалів при проектуванні архітектурних будівель і споруд. (екологічний аспект). *Научовий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2019. Т. 1. № 2(96). С. 186-191.

Анопко Д.В, Гончар О.А., Кобилянський І.З. КОМПОЗИЦІЙНИЙ РАДІАЦІЙНОЗАХИСНИЙ ЦЕМЕНТ З ПІДВИЩЕНОЮ ТЕРМО- ТА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЮ.

Показано, що введення добавки, що складається з суміші аморфного мікрокремнезема і тонкодисперсного заліза збільшує опір цементного каменю деструктивному дії температури. Досягнутий позитивний результат пояснюється управлінням процесом утворення тріщин, де аморфний мікрокремнезем з одного боку, володіючи невисокою щільністю і міцністю, виконує роль демпфуючої добавки, що діє переважно при 20°С, а з іншого - він є досить хімічно активним і зв'язує вільне вапно, яке утворюється при твердінні цементного каменю, тобто виконує роль перешкоди для тріщин, що розвиваються. Введення тонкодисперсного заліза приводить до утворення мікротріщиноподібної структури, що забезпечує високі характеристики композиції при підвищеній температурі. Оптимальна дисперсність залізного порошку складає 0,08...0,16 мм. Поєднання цих добавок дозволило отримати цементний камінь з мікротріщиноподібною крупно-фрагментарною структурою, що володіє стабільними фізико-механічними показниками в інтервалі температур 20-300°С. Розмір фрагментів становить від 10 до 20 мм².

Ключові слова: радіаційнозахисні, тріщиностійкість, демпфуюча добавка, мікротріщинува структура.

Anopko D., Honchar O., Kobylanskyi I. COMPOSITION RADIATION PROTECTIVE CEMENT WITH INCREASED HEAT AND CRACKING RESISTANCE. In the paper was shown that the introduction of an additive consisting of a mixture of amorphous silica fume and finely

divided iron increases the resistance of a cement stone to the destructive effect of temperature. Achieved positive result is explained by the management of the process of cracking: on the one hand, amorphous silica fume silica, having a low density and strength, acts as a damping additive, acting mainly at 20 °C, and on the other hand, it is sufficiently chemically active and binds free lime formed during hardening of cement stone, acting as a barrier for a developing crack. The introduction of finely divided iron leads to the formation of a microcrack structure, which provides high

strength characteristics of the composition at high temperatures. The optimum dispersion of the iron powder is 0.08 ... 0.16 mm. The joint introduction of these additives made it possible to obtain a cement stone with a microcrack-like coarse-fragmented structure that has stable physical and mechanical properties in the temperature range of 20 ... 300 °C. The size of the fragments is from 10 to 20 mm².

Key words: radiation protection, crack resistance, damping additive, microcrack structure.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-98-4-239-244

УДК 614.842

Цапко Ю.В.^{1,2}, Ломага В.В.², Бондаренко О.П.¹, Цапко О.Ю.²

¹Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В. Д. Глуховського, Київський національний університет будівництва і архітектури (Повітрофлотський просп., 31, Київ, 03037; e-mail: juriyts@ukr.net, bondolya3@gmail.com; orcid.org/0000-0001-9118-6872, orcid.org/0000-0002-8164-6473)

²Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 12в, м. Київ, 03041; e-mail: lomaga39@gmail.com, aleksevsapko@gmail.com; orcid.org/0000-0002-0569-9987, orcid.org/0000-0003-2298-068X)

ДОСЛІДЖЕННЯ ОКРЕМИХ АСПЕКТІВ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ СПУЧУЮЧИМ ЛАКОМ

Визначено ефективність застосування спучуючого лаку для вогнезахисту деревини. Для цього було проведено дослідження щодо визначення механізму захисту за показниками швидкості термодеструкції і утворення летких горючих газів. При довготривалій дії високої температури покриття забезпечує відповідну стійкість деревини термічному розкладу, а саме низькі втрати маси та незначну динаміку наростання температури димових газів при випробуваннях. Проведені дослідження за допомогою термогравіметрії та газової хроматографії свідчать, що механізм вогнезахисної ефективності направлений в сторону утворення на поверхні коксового шару. Наявність захисного лаку на поверхні деревини при термічній дії змінює процес термодеструкції, зменшує кількість горючих газів, які флегматизуються великою кількістю азоту та діоксиду вуглецю, що відповідно підтверджується результатами визначення групи горючості.

Ключові слова: вогнестійкість, покриття, спучення, температура, втрата маси, леткі продукти горіння.

Вступ. Капітальне будівництво та реконструкція існуючих об'єктів цивільного, промислового і спеціального призначення, пов'язане з використанням деревини, яка чутлива до впливу високої температури. тому важливим показником для деревини є її здатність зберігати функціональні властивості в умовах експлуатації. З урахуванням цих проблем прийняті нормативні документи, які вимагають при проектуванні конструкції з деревини враховувати її стійкість проти біологічних організмів, а також проводити захисну обробку будівельних матеріалів спеціальними засобами. зниження горючості деревини вирішується завдяки використанню вогнезахисних покриттів, що наносяться на поверхні конструкцій та матеріалів, з

яких вона виготовляється, та просоченням її антипіренами. Сутність вогнезахисту антипіренами тлумачиться в гальмуванні процесів займання целюлози, коли температурний інтервал поширюється, константи швидкості реакцій знижуються, зменшується і ефективна енергія активації [1- 3]. Однак, вогнезахист деревини поверхневим просоченням не забезпечує високу вогнезахисну ефективність і не може створити умови досягнення необхідної якості захисного покриття і тривалості безпечної експлуатації об'єктів, оскільки антипірени проникають на незначну глибину та вимиваються [2-4].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Для комплексного захисту деревини від загорання і біологічного