

Таблица 2

Характеристика процессов плавления (кристаллизации) анализируемых композиций в системе  $FeO - Al_2O_3 - SiO_2$

Шифр	Содержание оксидов, %			Температура начала плавления, °С	Содержание эвтектического расплава, %	Температура полного плавления, °С
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO			
без добавок						
Г-0	74,02	17,30	8,68	1210	27	1605
с добавкой щебня						
ГБ-2	75,36	16,81	7,83	1210	22	1611
ГБ-3	76,02	16,57	7,41	1210	23	1618
ГБ-4	76,69	16,33	6,98	1210	21	1621
ГБ-5	77,35	16,09	6,56	1210	19	1627
с добавкой гранита						
ГП-2	74,48	17,60	7,92	1210	23	1611
ГП-3	74,71	17,76	7,53	1210	21	1614
ГП-4	74,94	17,92	7,15	1210	21	1618
ГП-5	75,17	18,07	6,76	1210	19	1624
с добавкой диабаз						
ГД-2	70,32	18,01	11,67	1210	35	1600
ГД-3	68,41	18,37	13,22	1210	40	1590
ГД-4	66,45	18,75	14,80	1205	7	1570
ГД-5	64,45	19,13	16,41	1205	13	1475

Теоретическое рассмотрение в системе  $FeO - Al_2O_3 - SiO_2$  физико-химических процессов, протекающих в исходных магматических добавках при нагревании, свидетельствует о более раннем появлении (1083 °С) в 1,8 раза большем количестве (50 %) эвтектического расплава в диабазе по сравнению с гранитоидом (1205 °С и 28 % соответственно), что, в перспективе, свидетельствует о его более выраженном флюсующем действии в композициях с легкоплавкими глинами по сравнению с гранитоидом. Поэтому предположительно композиции с диабазовой породой будут иметь более низкую температуру спекания по сравнению с композициями с гранитоидом. В общем случае, прогнозируется, что добавки магматических пород к низкосортному глинистому сырью будут способствовать повышению прочности обожженных изделий.

#### Литература

1. Dhanapandiana, S., Shanthib, M. Utilization of marble and granite wastes in brick products // Journal of Industrial Pollution Control. – 2009. – V. 25. – P. 145–150.
2. Menezes R.R., Ferreira H.S., Neves G.A., Lira H.L., Ferreira H.C. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles // Journal of the European Ceramic Society– 2005. – V. 25. – Is. 7. – P. 1149–1158.
3. Moroz B.I., Chernyak L.P., Luchka M.Kh. The effect of basalt on the sintering tendency of clay of various chemical-mineralogical composition // Glass and Ceramics. – 1976. V. 33. P. 505–507.

### ВЛИЯНИЕ КАРБОНАТНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Сударев Е.А., Киричук Е.В., Коренкова М.Д.

Научный руководитель – доцент Н.А. Митина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время использование добавок различного генезиса позволяет управлять физико-химическими процессами, протекающими в системе «цемент-вода» при схватывании и твердении цемента. Ясное понимание данных процессов, одновременно с высокой культурой производства, позволяет создавать высокофункциональные композиционные материалы (бетоны и растворы) с повышенными технологическими и физико-механическими свойствами [1].

Наиболее актуально, в последнее время, применение карбонатных добавок в технологии производства цемента. Изучением данного вопроса занимались исследователи отечественной и зарубежной науки [2, 4-6].

Однако на сегодняшний день влияние карбонатных добавок на процесс гидратации и твердения цемента по-прежнему остается недостаточно изученным.

Поэтому целью настоящей работы является исследование влияния карбонатных добавок на процессы гидратации и твердения цемента.

В качестве основного сырьевого материала в работе использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5Б (ГОСТ 31108-2016, ООО «Топкинский цемент», Кемеровская область). Химический состав портландцемента и карбонатных добавок приведен в таблице 1. Минералогический состав портландцемента представлен клинкерными минералами  $C_3S$  – 65,4%,  $C_2S$  – 14,5%,  $C_3A$  – 7,5%,  $C_4AF$  – 12,4 %. Их содержание соответствует основным заданным характеристикам клинкера  $KH$  – 0,94,  $n$  – 2,21,  $p$  – 1,33.

Таблица 1

Химический состав портландцемента ЦЕМ I 42,5Б и карбонатных добавок

Наименование материала	Содержание оксидов, %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ппп
Портландцемент	21,36	5,51	4,15	67,15	1,35	1,35	-	0,24
Известняк (И)	3,16	1,01	0,44	51,97	0,67	0,16	0,24	42,20
Доломит (Д)	0,40	-	0,08	31,59	21,23	0,32	0,02	46,26

В качестве карбонатных добавок были использованы: известняк (Соломинское месторождение, г. Топки, Кемеровская область), доломит (Таецинское месторождение, Таштагольский район, Кемеровская область).

Карбонатные добавки предварительно высушивали до постоянной массы и измельчали в лабораторной шаровой мельнице.

Приготовление проб осуществлялось путем совместного перемешивания в шаровой лабораторной мельнице портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Б с 20-ю % карбонатных добавок (согласно ГОСТ 31108-2016), в течение 30 минут.

В ходе данной работы определялись нормальная густота и сроки схватывания цементного теста с карбонатными добавками таблица 2.

Таблица 2

Нормальная густота и сроки схватывания цемента с карбонатными добавками

Шифр цемента	Количество добавки, % от массы цемента	S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> / кг	НГ, %	Сроки схватывания, ч-мин	
				начало	конец
ЦЕМ I 42,5 Б	-	355	26,00	2-10	3-15
И	20	376	26,75	2-55	4-07
Д	20	407	26,60	3-20	5-00

Эффективность действия карбонатных добавок на процессы гидратации и твердения цемента оценивалась на основании степеней гидратации и перестройки структуры, теплоты смачивания, используя при этом объемные фазовые характеристики [3] (таблица 3).

Таблица 3

Характеристики цементного камня с карбонатными добавками

Шифр цемента	Степень гидратации α <sub>г</sub> , %			Степень перестройки структуры α <sub>п</sub> , %			Теплота смачивания, Дж
	2 сут	14 сут	28 сут	2 сут	14 сут	28 сут	
ЦЕМ I 42,5Б	55,0	60,4	70,8	57,3	63,6	73,0	7,75
И-20	57,6	64,3	70,7	61,2	67,4	73,2	7,44
Д-20	62,8	65,8	68,6	67,0	69,0	72,1	8,14

Из таблицы 3 видно, что у цемента с добавкой Д-20 степень гидратации в поздние сроки твердения (28 сут.) ниже на 3 %, чем у цемента с добавки И-20. Однако в ранние сроки твердения (2 сут) степень гидратации цемента с добавкой Д-20 на 9 % выше И-20.

В свою очередь из анализа таблицы 3 следует, что наибольшее влияние на степень перестройки структуры оказывает карбонатная добавка И-20, которая к поздним срокам твердения (28 сут.) увеличивает ее на 1,4 %, относительно добавки Д-20.

Также данные карбонатные добавки по-разному влияют на теплоту смачивания в цементных системах. Так, ввод добавки И-20 снижает теплоту смачивания на 4 %, а ввод добавки Д-20 увеличивает теплоту смачивания на 5% и связано это с тем, что добавка Д-20 обладает более развитой поверхностью.

Общая пористость цементного камня с карбонатными добавками увеличивается на 5,7-23,9 % по сравнению с бездобавочным цементом (рис. 1). Однако при этом открытая пористость цемента с карбонатными добавками

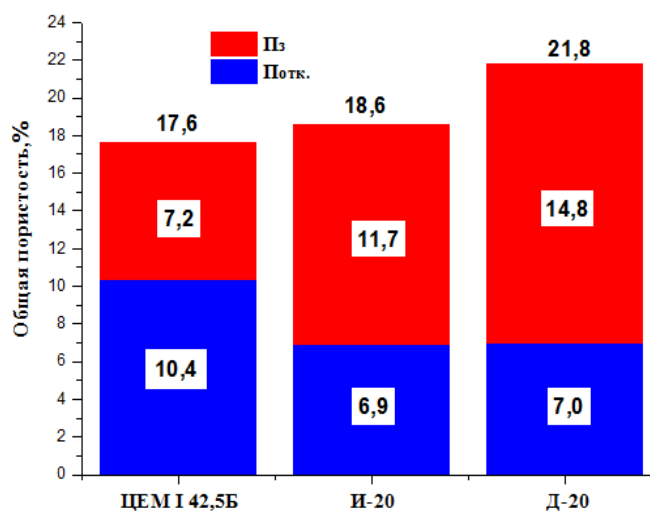


Рис. 1 Пористость цементного камня с карбонатными добавками после 28 сут твердения

снижается в среднем на 33,2 %, а замкнутая – растет в среднем на 84 % (на 62,5 % с И-20 и на 105,5 % с Д-20).

Увеличение замкнутой пористости связано с заполнением свободного порового пространства продуктами гидратации цемента, интенсивность которых зависит от химического взаимодействия гидратируемого цемента с мелкодисперсными карбонатными добавками [2,4,5]. Карбонатные добавки известняк и доломит способствуют коагуляции пор, что может привести по прогнозам к увеличению морозостойкости, коррозионной стойкости и, как следствие, повышению долговечности цемента и бетонов на их основе.

Марочная прочность цемента устанавливается по показателям прочности на изгибе и сжатии образцов-балочек размером 40×40×160 мм, изготовленных из пластичного цементного раствора состава 1:3 по массе (цемент:песок) и В/Ц = 0,40.

Полученные образцы твердели в воздушно-влажных условиях в течение 28 суток, после чего их испытывали на прочность при изгибе и сжатии.

Результаты исследования приведены в таблице 4.

Таблица 4

Марочная прочность цемента с карбонатными добавками

Шифр цемента	Количество добавки, % от массы цемента	Прочность после твердения в течение 28 сут, МПа	
		изгиб	сжатие
ЦЕМ I 42,5Б	-	6,8	42,5
И-20	20	5,4	30,4
Д-20	20	6,3	30,4

Из таблицы 4 видно, что ввод карбонатных добавок в количестве 20 % приводит к снижению марочной прочности на 28,5 % и переводу цемента из типа ЦЕМ I 42,5Б в тип ЦЕМ II/A-И(Д) 22,5Н, что соответствует ГОСТу 31108-2016.

Применение карбонатных добавок в заданном количестве связано с возможностью «разбавления» цемента до уровня, обеспечивающего получение оптимального значения по прочности [1].

Данный вид цемента может быть использован для приготовления растворов низких марок, для ремонтных работ, а также производства сухих строительных смесей.

#### Литература

1. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 221 с.
2. Козлова В.К. Влияние карбонатсодержащих добавок на свойства композиционных цементов / В.К. Козлова, А.М. Маноха, А.А. Лихошерстов, Е.В. Мануйлов, Е.Ю. Малова // Цемент и его применение. – 2012. – № 3. – С. 53–57.
3. Лотов В.А., Кутугин В.А. Технология материалов на основе силикатных дисперсных систем: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 211 с.
4. Лугинина И.Г. Новые пути использования доломитов и магнезиальных известняков в технологии специальных цементов / И.Г. Лугинина, Л.Д. Шахова, Н.В. Литвишова // Известия вузов. Строительство. – 1998. – № 5. – С. 60–63.
5. Тимашев В.В. Свойства цементов с карбонатными добавками / В.В.Тимашев, В.М. Колбасов // Цемент. – 1981. – № 10. – С. 10–12.
6. Hoshino S. XRD/Rietveld Analysis of the Hydration and Strength Development of Slag and Limestone / Seiichi Hoshino, Kazuo Yamada, Hiroshi Hirao // Blended Cement Journal Of Advanced Concrete Technology – 2006. –Vol. 4. – № 3. – P. 357–367.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ В РАЗРАБОТКЕ СОСТАВОВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС

Таиров С.С., Сабиров Б.Т.

Научный руководитель – профессор З.Р. Кадырова

Институт общей и неорганической химии, Академия Наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан

В мире большое значение придается вопросам экономии топливно-энергетических ресурсов путем рационального использования минерально-сырьевых и вторичных материалов в производстве керамических изделий. Основные свойства керамических изделий зависят от процесса спекания алюмосиликатных сырьевых компонентов, так как важнейшие физико-химические процессы, обеспечивающие формирование прочной и свойственной структуры керамического черепка, происходят именно при их спекании. Спекание является многофакторным и сложным процессом, которое основательно определяет функциональные и эксплуатационные свойства обожженного керамического черепка. Особенно, при отсутствии пригодных сырьевых компонентов при производстве облицовочных плиток, в технологическом процессе которых используются конвейерные линии автоматического или программного управления, при выборе сырья на первый план выходит постоянства их химического состава и стабильность физико-химических и технологических свойства. При этом следует отметить, что во всем мире уделяется особое внимание исследованию процессов низкотемпературного спекания алюмосиликатного сырья; использование вторичных ресурсов при разработке составов и технологических режимов получения керамических материалов является актуальной задачей.

В настоящее время, в связи с сокращением запасов традиционного керамического сырья, все актуальнее становится проблема использования в их производстве промышленных отходов. Некоторые из них представляют собой сырье, не требующее дополнительной обработки. Для большей части промышленных отходов характерны значительные колебания химического и минерального состава. Недостаточная изученность самого сырья и его