

УДК 691. 327 + 666.942

## **ПОВЫШЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК**

*С.Н. Погорелов*

Приведены результаты исследования изменения параметров пористости бетонов и сталефибробетонов в процессе циклического замораживания. Сочетание фибрового армирования с цементной матрицей обладающей повышенной трещиностойкостью позволяет получить улучшение работоспособности композиционного материала. Показана эффективность использования активной минеральной добавки – шлака для повышения морозостойкости бетонов и сталефибробетонов.

Ключевые слова: пористость, структурообразование, сталефибробетон, шлакопортландцемент, морозостойкость.

Увеличение сроков службы сооружений из бетона имеет не меньшее значение, чем обеспечение прочности. Наиболее интенсивное разрушение бетонных конструкций, как это следует из многочисленных наблюдений различных исследователей [1], происходит при многократном переменном замораживании и оттаивании бетона в водонасыщенном состоянии. Плотность цементного камня, качественный состав продуктов гидратации, строение порового пространства, содержание открытых капиллярных пор и их размер оказывают решающее влияние на морозостойкость бетона.

В данной работе оценивали влияние добавки шлака в цемент на поровую структуру бетона и сталефибробетона и их стойкость к циклическому замораживанию и оттаиванию. Шлаковые цементы получали смешиванием бездобавочного портландцемента М550 Коркинского цементного завода и молотого доменного гранулированного шлака ММК. Пористость определяли у мелкозернистого бетона (Ц:П=1:2, В/Ц=0,52). Для получения сталефибробетона в смесь добавляли стальные фибры из листа в количестве 120 кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, параметры фибрового волокна: сечение 0,5х0,5 мм, длина 32 мм. Образцы-кубики 7х7х7 см после изготовления подвергали тепловлажностной обработке по режиму 2+4+8+2 часа, при температуре изотермической выдержки 85 °С, затем 5 суток хранили в нормальных условиях, 2 суток насыщали водой и подвергали испытанию на морозостойкость. Мелкозернистый бетон и сталефибробетон замораживали при температуре – 20 °С. Пористость материала оценивали по кинетике водопоглощения (методика определения условных градиентов пор [2] и методике определения характеристик пористости ГОСТ 1273042).

Таблица 1

Зависимость пористости бетона от содержания шлака в цементе

Содержание шлака, %	Условный градиент пористости								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4,49	2,34	0,96	0,52	0,45	0,34	0,41	0,39	0,87
30	4,57	2,28	1,13	0,65	0,54	0,41	0,43	0,44	0,88
50	4,55	2,26	1,27	0,74	0,59	0,41	0,44	0,50	0,93
80	4,85	2,40	2,05	1,40	1,23	0,94	0,94	0,86	1,07

Из полученных результатов (см. табл. 1) для мелкозернистых бетонов на различных вяжущих можно сделать заключение о том, что введение шлака способствует повышению открытой капиллярной пористости материала. С увеличением количества шлака, соответственно, убывает содержание клинкерной составляющей в вяжущем, отсюда, при взаимодействии с водой меньше выделяется гидроксида кальция – активизатора твердения шлака. Это приводит к невозможности связывания всей шлаковой составляющей. Избыток воды, не вступающей в химические реакции способствует образованию дополнительного объема открытых капиллярных пор. Рост пористости идет, главным образом, за счет повышения содержания мелких пор. Необходимо отметить, что при содержании шлака в смеси до 50 % незначительно изменяются объемы наиболее крупных капиллярных пор (1, 2, 3 градиенты), при содержании шлака 80 % эти объемы возрастают существенно.

Добавка шлака в количестве 50 % позволяет получить однородную мелкодисперсную структуру цементного камня при незначительном увеличении объема макропор.

Определение пористости по методике ГОСТ 1273042 (см. табл. 2) подтверждает вышеизложенные положения. Повышение содержания шлака более 80 % приводит к резкому увеличению капиллярной пористости. Средний размер пор, убывающий при введении шлака в количестве до 50 %, возрастает при содержании шлака 80 %.

Прочность и долговечность бетонов на шлаковых вяжущих существенным образом зависят от условий твердения и эксплуатации [3, 4]. Тепло-влажностная обработка положительно влияет на интенсивность химических реакций взаимодействия шлаковых частиц и гидроксида кальция и способствует образованию большого количества высокодисперсной гелевидной фазы, благоприятно воздействующей на «самозалечивание бетона». Высокое содержание геля повышает способность к релаксации внутренних растягивающих напряжений, возникающих от гидростатического давления, кристаллизации продуктов коррозии льда в порах бетон. Т.е. повышает способность материала сопротивляться агрессивному воздействию среды [5, 6]. Оптимальное количество шлака в шлакопортландцементе оп-

ределяется минимально возможной пористостью и оптимальным количеством соотношением гелевой и кристаллической фаз в цементном камне, что позволяет создать структуру с высокой вязкостью разрушения.

Таблица 2

Изменение пористости бетона при циклическом замораживании

Количество циклов	Показатели Пористости	Содержание шлака, %							
		0		30		50		80	
		Б	СФБ	Б	СФБ	Б	СФБ	Б	СФБ
0	Показатель однородности размеров пор	0,62	0,63	0,63	0,63	0,64	0,66	0,47	0,46
	Показатель среднего размера пор	1,78	1,76	1,37	1,24	1,20	1,02	1,92	1,87
	Открытая капиллярная пористость, %	23,2	22,9	25,2	24,8	26,0	26,2	28,7	28,3
100	Показатель однородности размеров пор	0,49	0,51	0,55	0,54	0,55	0,55	0,44	0,43
	Показатель среднего размера пор	5,98	4,69	4,81	3,38	3,74	2,63	6,29	6,37
	Открытая капиллярная пористость, %	30,5	29,5	29,8	28,2	28,8	27,0	32,9	30,6

Одним из эффективных способов повышения прочности и стойкости материала к образованию трещин, в том числе при морозной агрессии, является введение фибровой арматуры. Возможность фибр сдерживать растущие микротрещины и препятствовать, таким образом, появлению дополнительной пористости исследовалась на мелкозернистых бетонах обладающих различной способностью к релаксации напряжений и вязкостью разрушения. Это достигалось путем введения в состав вяжущего для сталефибробетона различного количества добавки шлака (см. табл. 2). Следует отметить, что введение дисперсной арматуры способствует улучшению поровой структуры бетонной матрицы и приводит к снижению ее проницаемости. Из полученных результатов (см. табл. 2) видно, что во всех случаях использование фибры уменьшает величину среднего размера пор мелкозернистого бетона и повышает однородность размеров пор. Влияние дисперсной арматуры на объем открытых капиллярных пор у бетона, не подвергавшегося воздействию агрессивной среды явно не прослеживается. После 100 циклов замораживания при температуре  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и оттаивания

в воде закономерность, наблюдавшаяся ранее для среднего размера и однородности пор сохранилась для всех исследуемых составов бетона. При этом наиболее морозоустойчивым оказался сталефибробетон на шлакопортландцементе содержащем 50 % шлака. Это подтверждается при сравнении величин открытой капиллярной пористости материалов с различным содержанием шлака. Анализ результатов свидетельствует о благоприятном воздействии фибровой арматуры на долговечность мелкозернистых бетонов на шлакопортландцементах.

#### Библиографический список

1. Powers, T.C. A working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete / T.C. Power // Proc. ACI. – 1945. – № 41. – Pp. 245–272.
2. Туркестанов, Г.А. Пористость цементного камня и качество бетона / Г.А. Туркестанов // Бетон и железобетон. – 1964. – № 11. – С. 23–38.
3. Трофимов, Б.Я. Влияние количества шлака в цементе на морозостойкость тяжелого бетона / Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар, К.В. Шульдяков // Строительные материалы. – 2013. – С. 96–101.
4. Сатарин, В.И. Шлакопортландцемент / В.И. Сатарин // Шестой межд. конгресс по химии цемента: сб. науч. тр. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 45–56.
5. Тейлор, Х. Химия цемента / Х. Тейлор; пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
6. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.

[К содержанию](#)