

КУПРИЯШКИНА Л. И., УСАНОВА Е. Ю., ЕРМОЛАЕВ Д. Н.

ВЛИЯНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА

НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ КЛАДОЧНОГО РАСТВОРА

Аннотация. В данной статье рассмотрено влияние микрокремнезема, полученного на основе модифицированного природного диатомита, на основные характеристики строительного раствора. Приведено изменение элементного состава диатомита при его модификации. Показано воздействие модификации диатомита на изменение порового пространства цементного камня.

Ключевые слова: морозостойкость, строительный раствор, пористость, прочность, водопоглощение, микрокремнезем, диатомит.

KUPRYASHKINA L. I., USANOVA E. YU., ERMOLAEV D. N.

THE EFFECT OF MICROSILICA

ON FROST RESISTANCE OF MASONRY MORTAR

Abstract. This article examines the effect of microsilica obtained on the basis of modified natural diatomite on the basic characteristics of the mortar. The change in the elemental composition of diatomite during its modification is provided. The effect of diatomite modification on the change in the pore space of cement stone is shown.

Keywords: frost resistance, mortar, porosity, strength, water absorption, microsilica, diatomite.

По требованиям СП 15.13330.2020, п. 4.1, «При проектировании каменных и армокаменных конструкций следует применять конструктивные решения, изделия и материалы, обеспечивающие требуемую несущую способность, долговечность... и температурно-влажностный режим...». Если говорить об эксплуатации конструкций на территории России, где основная часть территорий относится к областям с длительным периодом отрицательных температур и большим количеством переходов через точку в 0°C в течении всего года, то одним из основных агрессивных факторов внешней среды, влияющим на долговечность конструкций, является циклическое замораживание-оттаивание, в связи с чем морозостойкость можно считать одним из основных показателей качества цементного раствора.

Цементный камень является капиллярно-пористым материалом, поэтому одними из важнейших характеристик его структуры являются параметры его порового пространства. Результаты экспериментальных исследований, проведенных Ахвердовым И. Н. [1], Горчаковым Г. И. [2], Шейкиным А. Е. и другими учеными, показывают, что все важные для

практики свойства цементного камня находятся в прямой зависимости с характером его порового пространства, которое представляет собой все пространство цементного камня, не занятое твердой фазой исходных материалов и новообразований [3].

В матрице цементных силикатных новообразований в процессе твердения цементных композитов формируются поры различных видов: поры CSH-геля, капиллярные и контракционные поры.

Капиллярные поры, образуемые «капиллярной» испаряющейся водой, имеющей с материалом физико-механическую связь, расположены между агрегатами частиц цементного геля. Капиллярные поры являются путями фильтрации воды через бетон, и вода в них начинает замерзать при $-1 \div -2$ °С. Контракционные поры образуются вследствие уменьшения абсолютного объема системы «цемент–вода». При замерзании бетона контракционные поры играют роль своеобразных запасных резервуаров, в которые может отжиматься часть воды из капиллярных пор, что способствует уменьшению давления замерзающей воды на стенки капиллярных пор и повышает морозостойкость бетона [4].

Поры CSH-геля представляют собой промежуточное пространство между частицами гидратированного цемента, образовавшееся испаряющейся водой, адсорбционно связанной в гидратных оболочках частиц геля. Пауэрс Т. и др. предполагают, что данный вид пористости занимает 28% объема образованного цементного геля [5]. В структуре цементного камня имеются также поры с воздухом, вовлеченным в раствор при его перемешивании.

При замерзании вода, проникшая в тело цементного камня через открытые капиллярные поры, увеличивается в объеме примерно на 9%. В результате в материале возникают критические напряжения и механические деформации, что вызывает разрушение его структуры. Поэтому для повышения морозостойкости цементного камня необходимо формирование структуры с минимальным количеством открытых пор, заполняемых водой, и максимальным количеством «резервных» закрытых пор, куда может отжиматься вода при замерзании. Чем выше относительный объем «резервных» пор по сравнению с общим объемом пор, заполненных водой, тем выше морозостойкость раствора. Резервными являются условно-замкнутые поры [3].

Известны работ [6], где с целью повышения морозостойкости на основании гипотезы Т. Пауэрса «об интервале пор» [5] в бетоне создают искусственную замкнутую пористость (воздухововлекающими и пенообразующими добавками). На роль такой добавки можно рассматривать микрокремнезем, полученный модификацией природного диатомита, обработанного 2М раствором соляной кислоты. Это позволяет уменьшить содержание примесей в породе и увеличить содержание чистого оксида кремния. Анализ изменения элементного состава приведен в таблице 1.

Таблица 1

Элементный состав природного и модифицированного диатомита

Диатомит	Содержание оксидов, %							
	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
природный	86,9	1,33	1,47	2,84	4,59	0,37	0,15	2,18
модифицированный	92,1	-	0,32	0,44	3,06	0,35	0,19	0,44

Известно, что введение в состав цементных растворов минеральных наполнителей приводит к изменению прочностных показателей и плотности. Было проведено исследование по изучению влияния модифицированного диатомита на основные свойства растворяемых смесей. Исследуемые составы приведены в таблице 2.

Таблица 2

Составы модифицированных цементных растворов

№ состава	Цемент, гр	Известь, гр	Диатомит модифицированный, гр	Песок, гр	В/Ц	R _{сж} , кг/см ²	Плотность, г/см ³
1	30	0	10	60	2,67	79,2	1,735
2	25	5	10	60	3,2	66,7	1,653
3	20	10	10	60	4,0	42,9	1,667
4	30	0	20	50	2,67	78,6	1,513
5	25	5	20	50	3,2	67,4	1,469
6	20	10	20	50	4,0	60,1	1,507
7	30	0	25	45	2,67	72,8	1,512
8	25	5	25	45	3,2	83,3	1,452
9	20	10	25	45	4,0	48,8	1,308

Анализ полученных экспериментальных данных изменения прочности и плотности цементных композитов от количества диатомита и извести показал, что наибольшей прочностью обладает состав №8 с содержанием диатомита 25% и извести до 5%. Экспериментальные данные по изменению плотности подтверждают, что оптимально подобранный (по прочности) состав обладает практически наименьшей плотностью – 1,45 г/см³.

При содержании диатомита 25% и дальнейшем увеличении количества извести можно добиться уменьшения плотности до 1,3 г/см³, но это приводит к потерям по прочности. Для дополнительного снижения плотности осуществили повышение концентрации диатомита до 30% (при 5% содержании извести), что привело к снижению прочности до 70,4 кг/см²

(допустимо согласно ГОСТ Р 58766-2019) и плотность до $1,18 \text{ г/см}^3$, что соответствует легким растворам (ГОСТ Р 58766-2019). Показатели плотности и порового пространства составов с содержанием модифицированного диатомита 20 и 25% приведены в таблице 3.

Таблица 3

Исследование порового пространства

№ состава	$W_B, \%$	$W_O, \%$	$W_P, \%$	$\Pi, \%$	$\rho_o, \text{г/см}^3$	K_M	λ_2	α
4	27,85	36,21	24,05	38,17	1,23	0,864	4,075	0,623
5	37,18	43,09	37,18	44,32	1,11	1,000	1,873	1,305
6	27,91	34,88	24,42	39,71	1,22	0,875	12,220	0,292
7	32,93	41,15	29,27	42,73	1,15	0,889	7,538	0,474
8	33,33	41,15	29,63	41,50	1,18	0,889	5,716	0,549
9	23,86	32,00	20,45	38,10	1,23	0,857	9,195	0,186

где W_B – водопоглощение по массе; W_O – объемное водопоглощение; W_P – равновесное поглощение; Π – пористость; ρ_o – плотность; K_M – коэффициент микропористости; λ_2 – средний показатель пор; α – однородность пор по размеру.

Изменение характера пористости цементного камня со значительным увеличением объема пор, с уменьшением их размеров и изолированностью при одновременном «уплотнении» структуры не может не сказаться положительно на повышении морозостойкости и других свойств, в том числе способствовать существенному увеличению их долговечности. Данное предположение подтверждается рядом работ, в которых введение микрокремнезема, благодаря его развитой внутренней пористости (поры преимущественно представлены микрополостями и микрокапиллярами), значительно уменьшает скорость морозной деструкции независимо от начального водоцементного отношения [7; 8].

Таким образом, введение микрокремнезема в состав кладочного раствора, благодаря его собственной повышенной дисперсности и высокой пуццолановой активности, в результате которой происходит выделение дополнительных кристаллов CSH-геля, положительно влияет на структуру цементного камня. Уменьшение объема капиллярных пор снижает риски проникновения влаги в тело цементного камня, а увеличение количества закрытых и равномерно распределенных пор геля ведет к релаксации возникающих при замерзании воды напряжений, так как поры CSH-геля играют роль демпферов. Эти изменения, в свою очередь, приводят к повышению морозостойкости материала, а значит и его долговечности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Горчаков Г. И., Орендлихер Л.П., Савин В. И. Состав, структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1976. – 145 с.
3. Шейкин А. Е. Чеховский Ю. В., Бруссер М. И. Структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.
4. Горчаков Г. И., Капкин М. М., Скрамтаев Б. Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965. – 195 с.
5. Powers T. C. Working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete // Journal of American Concrete Institute. – 1945. – No. 4. – Vol. 16. – P. 3–32.
6. Корсун А. М., Батяновский Э. И. Морозостойкость цементного бетона во взаимосвязи с искусственно создаваемой пористостью // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 10. – С. 169–184.
7. Рахимбаев Ш. М. Процессы кольматации при химической коррозии цементных систем. Физическая модель // Бетон и железобетон. – 2013. – № 4. – С. 30–32.
8. Оськин К. В. Долговечность бетонов в ограждающих конструкциях при совместном действии влаги и знакопеременных температур: дисс. ... канд. тех. наук: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия». – Саранск, 2007. – 232 с.