

УДК 691.327.33:620.193.2

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М., Кафтаева М.В.

*ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: kaftaeva61@yandex.ru*

Рассмотрены основы повышения долговечности строительных материалов и изделий с помощью теории кольматации. Показано, что при правильном подборе состава строительного материала, который обеспечивает образование максимального количества кольматанта, можно достаточно сильно тормозить процесс коррозии. В условиях углекислотной агрессии необходимо применять высокоосновные цементы, так как при этом образуется максимальное количество CaCO_3 как кольматанта и в наибольшей степени будет проявляться эффект самоторможения реакций коррозии. Предложена схема взаимодействия гидросиликатов кальция низкой и высокой основности с углекислым газом. Рассмотрено влияние карбонизации на прочность камня из низкоосновного гидросиликата кальция группы тоберморита и двухосновного, к которым относится волокнистый гелеобразный гидросиликат C_2SH_2 и хорошо окристаллизованный $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$. Показано, что пено- и газобетон нормального, не гидротермального твердения отличаются большей атмосферостойкостью, чем газобетон из известково-песчаного вяжущего автоклавного твердения. Установлено, что ввод дополнительных химических добавок – ускорителей схватывания и твердения оказывает незначительное влияние на морозостойкость и атмосферостойкость пенобетонов.

Ключевые слова: газонаполненные материалы, теория кольматации, долговечность, атмосферостойкость, углекислая коррозия, карбонизация

TO THE ISSUE OF CARBON DIOXIDE CORROSION MECHANISM OF THE CONSTRUCTION MATERIALS

Anikanova T.V., Rakhimbaev S.M., Kaftaeva M.V.

State-Financed Educational Institution of Higher Professional Education «Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov», Belgorod, e-mail: kaftaeva61@yandex.ru

The basics of the increasing durability of the construction materials and products with the help of colmatation theory are considered. It is shown that the right proportioning of the construction material allows to ensure the formation of the maximum amount of colmatant, that allows to strongly inhibit the corrosion process. Thus, in the conditions of the carbon dioxide corrosion, it is required to use highly basic cements, because at these conditions the maximum amount of colmatant CaCO_3 forms and the effect of the self-inhibiting corrosion reaction of the highest degree will take place. Interaction pattern of the strong and weak basicity hydrous calcium silicates with carbon dioxide is offered. Carbonization influence on the strength of the stone of weak basicity hydrous calcium silicates from tobermorite group and dibasic, which include fibrous gel-like hydrous calcium silicate C_2SH_2 and well crystallized $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$, are considered. It is shown, that the foamed and aerated concrete of normal, not hydrothermal, solidification have a higher weatherability than aerated concrete with the lime-sand binder of autoclaved solidification. It is found, that the injection of the additional chemical additives – concrete set promoters and solidification accelerators, has an insignificant influence on the frost-resistance and weatherability of the foamed concretes.

Keywords: gas-expanded materials, colmatation theory, durability, weatherability, carbon dioxide corrosion, carbonization

Большой практический интерес представляет вопрос о поведении пенобетонных и других газонаполненных изделий и конструкций в процессе их длительной эксплуатации. В настоящее время еще не имеется достаточно экспериментальных данных и практических наблюдений об атмосферостойкости ячеистых строительных материалов.

В данной работе авторами рассматриваются вопросы атмосферостойкости газ- и пенобетонов на неорганической основе.

Одной из особенностей высокопористых газонаполненных материалов является большая поверхность их контакта с окружающей средой и в том числе с воздухом, поэтому атмосферостойкость является очень

важным их показателем, тем более что карбонизация газо- и пенобетонов сопровождается значительными собственными деформациями и напряжениями, сильно снижающими их эксплуатационные характеристики.

Согласно исследованиям, выполненным под руководством Ю.М. Бутта [4], гидросиликаты кальция тоберморитовой группы, состав которых приближается к $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, или $\text{CSH}(\text{B})$ и ксонотлит по номенклатуре Бога, или CSH-I по номенклатуре Тейлора, отличаются малой стойкостью в условиях углекислотной агрессии. Этим определяется недостаточная атмосферостойкость силикатного кирпича и изделий

из плотного силикатного бетона. Авторы [4] провели сравнительные исследования коррозии образцов из плотного и поризованного силикатного бетона автоклавного твердения. Было установлено, что последние корродируют в разы быстрее. Это и неудивительно, так как рост пористости образцов увеличивает скорость всех коррозионных процессов. Если учесть низкую атмосферостойкость плотных силикатных бетонов и силикатного кирпича, проблема долговечности газосиликатных изделий и конструкций приобретает особую значимость. Это требует принятия дорогостоящих мер по их защите от атмосферной агрессии и нормированию их применения в зависимости от климатических условий.

Эта проблема, несмотря на ее значимость, до сих пор не рассматривалась. Причины низкой стойкости низкоосновных гидросиликатов кальция тоберморитовой группы (CSH(B), тоберморит, ксонотлит) в условиях углекислотной агрессии рассмотрены в теории кольматации, разработанной Ш.М. Рахимбаевым [6]. Эта же теория позволяет понять и обосновать высокую стойкость против агрессивного действия углекислого газа гидросиликатов кальция высокой основности (C_2SH_2 , CSH-II, $C_2SH(A)$, $C_2SH(B)$, $C_2SH(C)$ и другие). Первый из них обеспечивает структурообразование и твердение таких видов поробетонов, как пенобетоны и неавтоклавный газобетон.

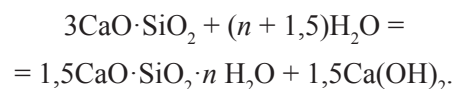
Отсюда следует, что газонаполненные материалы неавтоклавного твердения отличаются значительно более высокой стойкостью против углекислотной агрессии и обусловленной этим лучшей атмосферостойкостью, чем газобетоны автоклавного твердения.

Рассматривая сравнительную атмосферостойкость низко- и высокоосновных гидросиликатов кальция, следует подчеркнуть, что карбонизация первых сопровождается разрушением структуры твердения, обусловленной срастанием и прорастанием волокнистых и пластинчатых микрокристаллов низкоосновных гидросиликатов кальция. При этом образуется гелеобразная быстро усыхающая масса аморфной кремнекислоты, в которой «плавают» кристаллы карбоната кальция. Кристаллов $CaCO_3$ слишком мало для создания вторичной структуры твердения.

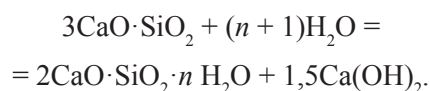
В случае же карбонизации высокоосновных гидросиликатов кальция количество образовавшейся аморфной кремнекислоты в 1,5–2 раза меньше, а кристаллов карбоната кальция – соответственно, больше, чем в предыдущем случае. В результате этого

на основе вновь образовавшихся кристаллов карбоната кальция возникает вторичная конденсационно-кристаллизационная структура твердения, которая отличается высокими физико-механическими показателями и атмосферостойкостью.

В связи с изложенным большое теоретическое и практическое значение имеет вопрос о составе гидросиликатов кальция, которые образуются при гидратации портландцемента. Издавна считается, что основность гидросиликатов кальция, которые образуются при гидратации алита и белита, близка к 2. Однако в последние 2–3 десятилетия по инициативе Х.Ф. Тейлора [9] стали писать, что она равна 1,4–1,7, в среднем 1,5. Реакцию гидратации алита принято писать следующим образом:



В результате такой реакции при полной гидратации алита должно выделиться 37% свободного гидроксида кальция. В действительности его количество не превышает 25%, что соответствует реакции:

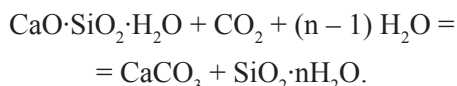


В своем учебнике, выпущенном в последние годы [10], Тейлор признал, что основность гидросиликатов в цементном камне находится в пределах 1,7–2.

Теоретические основы повышения долговечности строительных материалов и изделий путем оптимизации их состава отражены в теории кольматации [6], согласно которой процессы химической коррозии строительных материалов и изделий в большинстве случаев сопровождаются образованием малорастворимых в воде продуктов реакции компонентов цементного камня с агрессивными агентами, содержащимися в окружающей среде. Эти продукты обычно откладываются в зоне реакции и в той или иной степени кольматируют ее, то есть закупоривают поры материала, по которым идет диффузия агрессивных агентов. В связи с этим такие реакции являются в той или иной степени самотормозящимися. Чем обильнее и плотнее слой продуктов реакции – кольматантов, тем сильнее тормозится диффузия агрессивного агента вглубь изделия. В связи с этим, правильно подобрав состав строительного материала, который обеспечивает образование максимального количества кольматанта, можно достаточно сильно тормозить процесс коррозии.

Как следует из данных работы [8], кольматант создает не только чисто механическое сопротивление на пути агрессивных ионов. При этом большую роль играют электрокинетические явления. Так, поры кремнегеля мало проницаемы для анионов, а геля $Mg(OH)_2$ – для катионов.

При карбонизации гидросиликатов кальция тоберморитовой группы $CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$, которые являются основными связующими в газосиликатном бетоне автоклавного твердения, происходит следующая реакция:



Оба эти продукта реакции отличаются очень низкой растворимостью в воде, поэтому оба выполняют функцию кольматанта. Однако количественное соотношение $CaCO_3$ к SiO_2 составляет приблизительно 5 к 1, поэтому основным кольматантом в данных условиях является карбонат кальция. Следовательно, в условиях углекислотной агрессии необходимо применять высокоосновные цементы, так как при этом образуется максимальное количество $CaCO_3$ как кольматанта и в наибольшей степени будет проявляться эффект самоторможения реакций коррозии (рис. 1).

единственным кольматантом является гель кремнекислоты $SiO_2 \cdot nH_2O$. Естественно, в этих условиях более стойкими являются низкоосновные цементы.

Для решения вопроса о влиянии состава вяжущего на атмосферостойкость газонаполненных материалов рассмотрим данные табл. 1 о влиянии карбонизации на прочность камня из низкоосновного гидросиликата кальция группы тоберморита и двухосновного, к которым относится волокнистый гелеобразный гидросиликат C_2SH_2 и хорошо окристаллизованный $C_2SH(A)$ [3].

Из приведенных данных видно, что после тепловой обработки камень из тоберморита значительно прочнее, чем из двухосновного гидросиликата кальция. Однако после карбонизации атмосферным углекислым газом камень из низкоосновного гидросиликата кальция теряет прочность, а из высокоосновного гидросиликата кальция, наоборот, повышает ее. Тоберморит является основным связующим газобетона из известково-песчаного вяжущего автоклавного твердения, а двухосновный гидросиликат кальция – пенобетона неавтоклавного твердения из портландцемента Цем. I, а также Цем. IIА по ГОСТ 31108 – 2003.

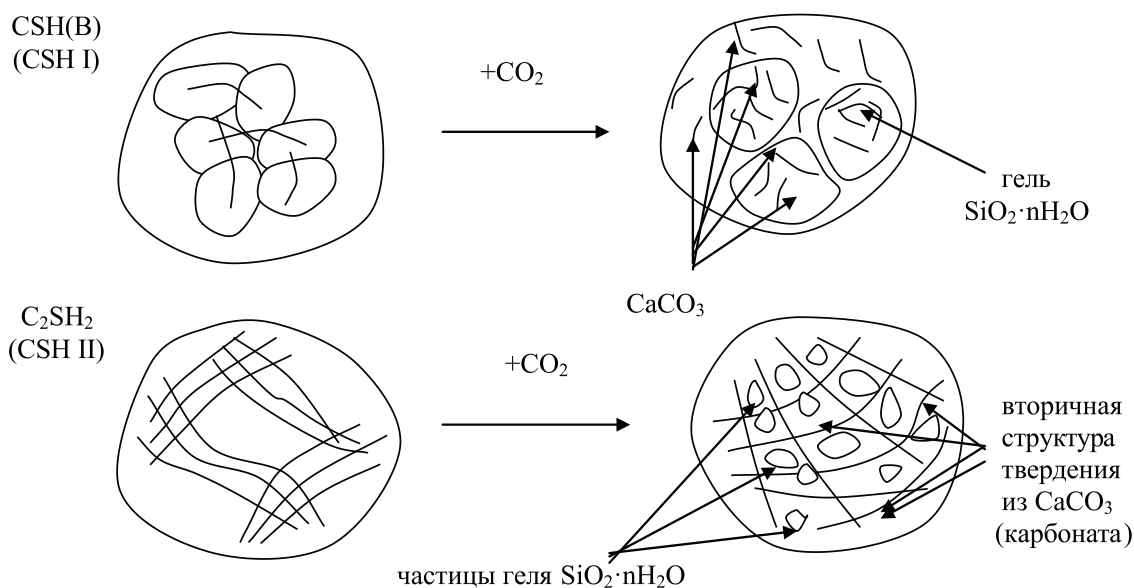


Рис. 1. Предполагаемая схема взаимодействия гидросиликатов кальция низкой и высокой основности с углекислым газом

При кислотной же коррозии, в том числе в водных растворах углекислого газа, под влиянием растворов HCl либо коррозии выщелачивания, когда ионы кальция удаляются из зоны реакции в окружающую среду в виде хорошо растворимых соединений,

С помощью уравнения теории [5, 7] переноса рассчитали кинетические константы средней плотности и предела прочности при сжатии гидросиликатов кальция при хранении на воздухе и в среде углекислого газа.

Таблица 1

Свойства гидросиликатов кальция при хранении на воздухе и в среде углекислого газа

Гидросиликаты кальция	Средняя плотность в кг/м³ через			Предел прочности (в МПа) при					
	1 сут.	3 мес.	6 мес.	сжатии через			изгибе через		
				1 сут.	3 мес.	6 мес.	1 сут.	3 мес.	6 мес.
Искусственная карбонизация									
CSH(B)	1070	1300	1330	2,65	2,06	1,92	0,40	0,37	0,31
Ксонотлит	0750	1160	1200	1,55	1,73	2,03	0,87	0,81	0,77
C ₂ SH(A)	720	960	1110	0,04	0,51	0,55	0,02	0,33	0,53
C ₂ SH(C)	710	1140	1180	0,13	0,81	0,95	0,18	0,22	0,25
На воздухе									
CSH(B)	1070	1220	1330	2,65	2,25	2,03	0,40	0,37	0,35
Ксонотлит	750	890	960	1,55	1,78	1,99	0,87	0,93	0,90
C ₂ SH(A)	720	850	920	0,04	0,30	0,35	0,02	0,28	0,30
C ₂ SH(C)	710	750	850	0,13	0,35	0,36	0,18	0,30	0,33

Константы кинетики усадки были рассчитаны по уравнениям теории переноса [9]:

$$\frac{\tau}{\sigma} = \left(\frac{\tau}{\sigma} \right)_0 + k_1 \cdot \sigma; \quad (1)$$

$$\frac{\tau}{\sigma} = \left(\frac{\tau}{\sigma} \right)_0 + k_2 \cdot \tau, \quad (2)$$

где τ – время твердения, сут; σ – предел прочности при сжатии, МПа; $(\tau/\sigma)_0$ – величина, обратная начальной скорости твердения (гидратации), сут/МПа; k_1 и k_2 – коэффициенты торможения процесса твердения (гидратации).

Уравнение (1) описывает кинетические процессы, происходящие с экстенсивным торможением во времени, уравнение (2) – с интенсивным торможе-

нием. Результаты расчета представлены в табл. 2 и 3.

Начальная скорость роста средней плотности у CSH(B) при искусственной карбонизации примерно в 2 раза выше, чем у ксонотлита, в то же время коэффициент торможения ниже, чем у остальных гидросиликатов. Ксонотлит существенно устойчивее CSH(B), особенно в отдаленные сроки, а еще более устойчивее высокоосновные гидросиликаты (C₂SH(A), C₂SH(C)), их начальная скорость еще меньше, а коэффициент торможения выше. Изменение коэффициента торможения говорит о том, что при повышении основности снижается активность взаимодействия при искусственной карбонизации. На воздухе разница начальной скорости сглаживается, коэффициенты торможения всех гидросиликатов довольно близки.

Таблица 2

Влияние карбонизации на кинетические константы изменения средней плотности гидросиликатов кальция во времени

Гидросиликаты кальция	Значения кинетических констант		
	U_0 , (кг/м ³)/сут	$k_{\text{тор}^2}$, (кг/м ³) ⁻¹	$k_{\text{кор}}$
Искусственная карбонизация			
CSH(B)	1478,43	0,0008	0,9999
Ксонотлит	777,94	0,0008	0,9998
C ₂ SH(A)	227,21	0,0009	0,9966
C ₂ SH(C)	731,71	0,0008	0,9998
На воздухе			
CSH(B)	454,92	0,0008	0,9987
Ксонотлит	368,21	0,001	0,999
C ₂ SH(A)	338,6	0,0011	0,9989
C ₂ SH(C)	202,98	0,0012	0,9971

Таблица 3

Влияние карбонизации на кинетические константы изменения предела прочности при сжатии гидросиликатов кальция во времени

Гидросиликаты кальция	Значения кинетических констант		
	U_0 , МПа/сут	k_{tor} , (МПа) ⁻¹	k_{kor}
Искусственная карбонизация			
Ксонотлит	0,37	0,4916	0,995
C ₂ SH(A)	0,02	1,1007	0,9543
C ₂ SH(C)	0,09	1,0153	0,9966
На воздухе			
Ксонотлит	0,52	0,5016	0,9977
C ₂ SH(A)	0,03	2,7328	0,9972
C ₂ SH(C)	0,15	2,7502	0,9999

Коэффициент торможения при карбонизации на воздухе увеличивается у всех рассматриваемых гидросиликатов, это говорит о том, что процесс карбонизации будет со временем интенсивно замедляться. У CSH(B) происходило снижение прочности, поэтому производили расчет интенсивности падения прочности (табл. 4).

Результаты исследований долговечности гидросиликатов кальция показывают, что расчеты, произведенные по пределу прочности при сжатии являются недостаточно точными, согласно этим расчетам ксонотлит является атмосферостойким, однако данные предела прочности при изгибе говорят об обратном. Отсюда следует вывод о том, что предел прочности при изгибе является более чувствительным при оценке долговечности. Предел прочности при изгибе уже на ранних сроках позволяет сделать вывод о долговечности того или иного

гидросиликата, тогда как для такой оценки про пределу прочности при сжатии нужны более длительные испытания. Результаты расчета влияния карбонизации на кинетические константы изменения падения предела прочности при изгибе CSH(B) и ксонотлита приведены в табл. 5.

Для C₂SH(A) и C₂SH(C) рассчитывали влияние карбонизации на кинетические константы изменения предела прочности при изгибе во времени (табл. 6).

Влияние карбонизации на воздухе на кинетические константы изменения предела прочности при изгибе для ксонотлита рассчитать не удалось из-за того, что прочность сначала растет, а затем снижается, возможно, это связано с неточностью испытаний, так как предел прочности при сжатии все время увеличивался, а при искусственной карбонизации увеличивался и предел прочности при изгибе.

Таблица 4

Влияние карбонизации на кинетические константы изменения падения предела прочности при сжатии CSH(B) во времени

CSH(B)	Значения кинетических констант		
	U_0 , МПа/сут	k_{tor} , (МПа) ⁻¹	k_{kor}
Искусственная карбонизация	0,02	1,0448	1
На воздухе	0,01	0,7258	1

Таблица 5

Влияние карбонизации на кинетические константы изменения падения предела прочности при изгибе CSH(B) во времени

CSH(B)	Значения кинетических констант		
	U_0 , МПа/сут	k_{tor} , (МПа) ⁻¹	k_{kor}
Искусственная карбонизация	0,02	1,1111	0,6547
На воздухе	0	20	0,9333

Таблица 6

Влияние карбонизации на кинетические константы изменения предела прочности при изгибе гидросиликатов кальция во времени

Гидросиликаты кальция	Значения кинетических констант		
	U_0 , МПа/сут	k_{tor} , (МПа) ⁻¹	k_{kor}
Искусственная карбонизация			
Ксонотлит	0	3,3333	1
C ₂ SH(A)	0,01	1,6164	0,954
C ₂ SH(C)	0,06	3,9903	0,997
На воздухе			
Ксонотлит	0	50	1
C ₂ SH(A)	0,02	3,0724	0,9998
C ₂ SH(C)	0,09	3,0157	0,9985

Основность связана с содержанием гидроксида кальция в системе, только при повышении основности и приближении ее к 2 создается вторичная структура, которая повышает прочность. У низкоосновных гидросиликатов вторичная структура не образуется. Из изложенного следует вывод, что пено- и газобетон нормального, не гидротермального твердения отличаются большей атмосферостойкостью, чем газобетон из известково-песчаного вяжущего автоклавного твердения, что подтверждается экспериментальными данными [3].

Авторами [3] показано, что на долговечность ячеистых бетонов большое влияние оказывает их внутренняя структура. Увеличение объема мелких пор в изделиях повышает их морозостойкость, стойкость в агрессивных средах. Необходимо стремиться к уменьшению размера пор в материале, поскольку это повышает долговечность изделий.

Авторы [1] помещали газосиликатные образцы на крышу зданий и хранили их в течение 3 месяцев, предел прочности образцов в течение 3 месяцев непрерывно увеличивался. Результаты испытаний, проведенных Ю.А. Баталиным и Б.А. Новиковым [1], представим в табл. 7.

Образцы, выпиленные из газосиликатных плит со средней плотностью 580 кг/м³, хранились в условиях г. Алма-Аты. Следует отметить, что первые три месяца наблюдается рост прочности образцов, что обусловлено образованием вторичной структуры твердения на основе частиц карбоната кальция.

Большой интерес для оценки атмосферостойкости представляет работа Е.В. Бау-

тиной [2], в которой исследовалась долговечность конструкционного газобетона, со средней плотностью 700–1000 кг/м³ в климатических условиях города Воронежа. Стеновые блоки из этого материала прослужили в многоэтажных домах в течение 44 лет, при этом существенных повреждений изделий не отмечено.

В связи с недостаточной изученностью атмосферостойкости теплоизоляционного пенобетона на синтетических пенообразователях автором произведены исследования атмосферостойкости пенобетонных образцов в климатических условиях Белгородской области. Исследования проводились путем натурных испытаний в условиях воздействия осадков, повышенных до +40°C и пониженных до –30°C температурах.

В атмосферных условиях на материалы одновременно оказывают действие несколько агрессивных факторов, поэтому для определения атмосферостойкости пенобетонные образцы хранили на открытом воздухе. Образцы размером 40×40×160 мм изготавливались с использованием бездобавочного белгородского цемента ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2003. В качестве пенообразователя применяли «Пеностром», рабочая концентрация 0,1 % масс. Образцы-балочки изготавливались методом «сухой минерализации пены». Образцы были помещены на крышу одноэтажного жилого дома в Вейделевском районе Белгородской области. Пенобетонные образцы хранились в атмосферных условиях 24 месяца. Результаты испытаний представлены в табл. 8.

Таблица 7

Предел прочности при сжатии (в МПа) газосиликатных образцов при различных условиях хранения

Место хранения	После запаривания	1 мес.	2 мес.	3 мес.
На открытом воздухе	2,69	2,76	3,25	4,22
В лаборатории	2,69	3,14	3,01	3,75

Таблица 8

Средняя плотность (кг/м^3) и предел прочности при сжатии (МПа) пенобетонных образцов, хранившихся в атмосферных условиях

Состав	Время									
	28 сут. (н.у.)		1 мес.		6 мес.		12 мес.		24 мес.	
	ρ	$R_{\text{сж}}$	ρ	$R_{\text{сж}}$	ρ	$R_{\text{сж}}$	ρ	$R_{\text{сж}}$	ρ	$R_{\text{сж}}$
ЦЕМ I 42,5 Н + 0,1Пен.	358	0,57	391	0,67	393	0,89	410	0,94	433	0,87
ЦЕМ I 42,5 Н + 0,1Пен. + 0,3 % поташ М	359	0,57	475	1,04	476	1,36	516	1,38	455	1,16

Из табл. 8 следует, что предел прочности при сжатии и плотность образцов увеличиваются в течение года. После 12 месяцев идет падение прочности, однако по прошествии двух лет предел прочности при сжатии выше, чем у исходных образцов. Анализируя характер атмосферных условий, можно считать, что в начальные сроки (до 6 месяцев) образцы находились в более благоприятных атмосферных условиях, т.е. в этом периоде средняя температура воздуха оказалась положительной, а относительная влажность и суммы осадков были незначительны (май – ноябрь). В последующие сроки (от 6 до 10 месяцев, от ноября до марта) образцы претерпевали действие отрицательных температур при большом количестве осадков. В январе и феврале температура опускалась до -35°C . На втором году хранения в атмосферных условиях образцы претерпевали действие высоких температур

(в мае – июле температура достигала $+40^\circ\text{C}$ на солнце) (www.gismeteo.ru). После 1-го года хранения в атмосферных условиях внешних изменений в образцах не наблюдалось (отсутствие микротрещин, высолов и т.п.).

На рис. 2 представлено изменение предела прочности при сжатии образцов, хранившихся на открытом воздухе. Видно, что рост прочности наблюдается в первые шесть месяцев, далее прочность образцов изменяется незначительно. После года испытаний процесс изменения прочности в образцах практически прекратился.

Прочностные изменения в образцах говорят о том, что пенобетон без добавки поташа более устойчив к действию атмосферных условий. Для более точной оценки влияния атмосферных условий на образцы из пенобетона используем уравнение теории переноса [7]. Результаты расчета представим в табл. 9.

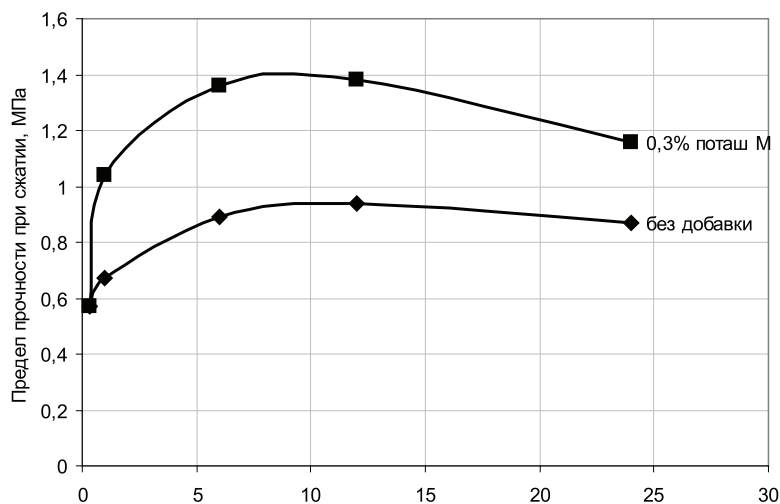


Рис. 2. Изменение предела прочности при сжатии пенобетонных образцов при хранении на открытом воздухе

Таблица 9

Влияние состава материала на кинетические константы при хранении в атмосферных условиях

Состав	Значения кинетических констант		
	U_0 , МПа/сут	$k_{\text{гор}}$, МПа $^{-1}$	$k_{\text{кор}}$
ЦЕМ I 42,5 Н + 0,1Пен.	0,06	1,0167	0,9998
ЦЕМ I 42,5 Н + 0,1Пен. + 0,3 % поташ М	0,06	0,6677	0,996

Из табл. 9 видно, что начальная скорость карбонизации образцов с добавкой поташ М и без добавки одинакова. Наибольший коэффициент торможения имеют образцы, не содержащие добавку ($k_{\text{тор}} = 1,0167 \text{ МПа}^{-1}$). Это говорит о том, что процесс карбонизации в этих образцах будет сильнее замедляться во времени.

В целом на основе литературных данных, а также исследований автора можно сделать вывод, что пенобетоны, с плотностью 300–400 кг/м³ обладают удовлетворительной атмосферостойкостью. Добавка поташ М оказала незначительное влияние на атмосферостойкость.

На основе известных экспериментальных данных о твердении в среде углекислого газа гидросиликатов кальция различной основности можно утверждать, что пенобетонные изделия неавтоклавного твердения из бездобавочных портландцементов типа ЦЕМ I превосходят по атмосферостойкости газосиликаты той же плотности. Поскольку имеется опыт успешной эксплуатации изделий из конструкционного газосиликата в течение 40–45 лет в условиях средней полосы России, есть основания предположить, что пенобетонные изделия той же плотности будут еще более долговечными.

Произведенные натурные испытания в климатической зоне Белгородской области образцов из пенобетона со средней плотностью 400 кг/м³ в течение двух лет, когда имели место десятки циклов замораживания-оттаивания, увлажнения-высушивания при температурах от +40 до –30 °С показали, что ввод дополнительных химических добавок – ускорителей схватывания и твердения оказывает незначительное влияние на морозостойкость и атмосферостойкость.

Список литературы

1. Баталин Ю.А. Освоение производства ячеистых силикатных бетонов на Ступинском заводе / Ю.А. Баталин, Б.А. Новиков // Строительные материалы. – 1961. – № 6. – С. 7–11.
2. Баутина Е.В. Оценка состояния ячеистого силикатного бетона в ограждающих конструкциях жилых зданий с длительным сроком эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. – Воронеж, ВГАСУ, 2006. – 26 с.
3. Бутт Ю.М. Долговечность автоклавных силикатных бетонов / Ю.М. Бутт, К.К. Куатбаев. – М.: Стройиздат, 1966. – 216 с.
4. Бутт Ю.М. Карбонизация гидросиликатов кальция / Ю.М. Бутт, А.А. Майер, Л.Н. Рашкович, О.И. Грачева, Д.М. Хейкер // Сборник трудов РосНИИМС. – 1960. – № 17. – 236 с.
5. Рахимбаев Ш.М. Методы оценки коррозионной стойкости цементных композитов / Ш.М. Рахимбаев, Н.М. Толыпина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 3. – С. 23–24.
6. Рахимбаев Ш.М. Принципы выбора цемента для использования в условиях химической агрессии // Изв. Вуз: Строительство. – 1998. – № 10. – С. 65–68.
7. Рахимбаев Ш.М. Расчет констант скорости некоторых процессов технологии искусственных строительных конгломератов // Проблемы материаловедения и совершенствование технологии производства строительных изделий. – Белгород: Изд-во БТИСМ, МИСИ, 1990. – С. 184–187.
8. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2005. – 36 с.
9. Тейлор Х.Ф. Гидросиликаты кальция // Труды V международного конгресса по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1973. – 480 с.
10. Тейлор Х.Ф. Химия цемента. – М.: Стройиздат, 1998. – 520 с.
1. Batalin Yu.A. Osvoenie proizvodstva yacheistyyh silikatnykh betonov na Stupinskoy zavode / Yu.A. Batalin, B.A. Novikov // Stroitelnye materialy. 1961. no. 6. pp. 7–11.
2. Bautina E.V. Otsenka sostoyaniya yacheistogo silikatnogo betona v ograzhdayushih konstruksiyah zhilykh zdaniy s dlitelnyim srokom ekspluatatsii: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.05 / Bautina Elena Vladimirovna; Voronezh, VGASU. 2006. 26 p.
3. Butt Yu.M. Dolgovechnost avtoklavnykh silikatnykh betonov / Yu.M. Butt, K.K. Kuatbaev. M.: Stroyizdat, 1966. 216 p.
4. Butt Yu.M. Karbonizatsiya gidrosilikatov kaltsiya / Yu.M. Butt, A.A. Mayer, L.N. Rashkovich, O.I. Gracheva, D.M. Heyker // Sbornik trudov RosNIIMS. 1960. no. 17. 236 p.
5. Rahimbaev Sh.M. Metody otsenki korrozionnoy stoykosti tsementnykh kompozitov / Sh.M. Rahimbaev, N.M. Tolyipina // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2012. no. 3. pp. 23–24.
6. Rahimbaev Sh.M. Printsipy vyibora tsementov dlya ispolzovaniya v usloviyah himicheskoy agressii / Sh.M. Rahimbaev // Izv. Vuzov: Stroitelstvo. 1998. no. 10. pp. 65–68.
7. Rahimbaev Sh.M. Raschet konstant skorosti nekotorykh protsessov tehnologii iskusstvennykh stroitelnykh konglomeratov // Problemy materialovedeniya i sovershenstvovanie tehnologii proizvodstva stroitelnykh izdeliy. Belgorod: Izd-vo BTISM, MISI. 1990. pp. 184–187.
8. Rozental N.K. Korrozionnaya stoykost tsementnykh betonov nizkoy i osobo nizkoy pronitsaemosti: avtoref. diss. ... d-ra tehn. nauk, Moskva, 2005. 36 p.
9. Teylor H.F. Gidrosilikaty kaltsiya // Trudy V mezhdunarodnogo kongressa po himii tsementa. M.: Stroyizdat, 1973. 480 p.
10. Teylor H. F. Himiya tsementa. M.: Stroyizdat, 1998. 520 p.

Рецензенты:

Ильина Т.Н., д.т.н., профессор кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция», ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород;

Лесовик Р.В., д.т.н., профессор кафедры «Строительное материаловедение, изделия и конструкции», ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород.