

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)
УДК 666.962.2

Поступила в редакцию 10.01.2017
Received 10.01.2017

**Н. Х. Белоус, С. П. Родцевич, О. Н. Опанасенко,
Н. П. Крутько, А. Д. Смычник**

*Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь*

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИХ ДОБАВОК НА ВОДО- И СОЛЕСТОЙКОСТЬ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

Аннотация. Исследовано влияние аморфного кремнезема, пластификатора, гидрофобизатора и комплексных гидрофобно-пластифицирующих добавок на структурные характеристики, физико-механические, гидрофизические свойства и коррозионную стойкость магнезиальных вяжущих. Проведено сопоставление некоторых структурных параметров (средней, истинной плотности, коэффициента плотности, общей, открытой, закрытой пористости) с прочностью при сжатии, водо- и солепоглощением, водо- и солестойкостью материалов. Показано, что введение в них аморфного кремнезема способствует формированию водостойких магнезиально-кремнеземистых структур, коагуляции порового пространства кремниевой кислотой и небольшому увеличению закрытой пористости, а использование пластификатора, гидрофобизатора и комплексных гидрофобно-пластифицирующих добавок – повышению плотности магнезиальных структур, существенному увеличению, в результате образования на поверхности твердых фаз мозаичных гидрофобных пленок, их закрытой пористости, оказывающей положительное влияние на технологические свойства магнезиальных материалов.

Ключевые слова: магнезиальные вяжущие, аморфный кремнезем, пластификатор, структурные характеристики, водостойкость, солестойкость, плотность, пористость

Для цитирования. Влияние структурообразующих добавок на водо- и солестойкость магнезиальных вяжущих / Н. Х. Белоус [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 1. – С. 118–125.

N. Ch. Belous, S. P. Rodtsevich, O. N. Opanasenko, N. P. Krutko, A. D. Smychnik

Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

THE INFLUENCE OF THE STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF MAGNESIA BINDERS ON THEIR WATER AND SALT RESISTANCE

Abstract. The influence of amorphous silica, plasticizer, water-repelling agent and integrated hydrophobic plasticizing additives on structural characteristics, physico-mechanical, hydrophysical characteristics and salt resistance of magnesia binders was studied. Some of the structural parameters (average and true density; density coefficient; total, open and closed porosity) were matched to compressive strength, water and salt absorption, water and salt resistance of the materials. It is shown that the introduction of the amorphous silica contributes to the forming of water resistant magnesium-siliceous structures, clogging of the pore space of silicic acid and small increase of closed porosity, and the use of a plasticizer, water-repelling agent and integrated hydrophobic plasticizers - to increase of the density of magnesia structures, a substantial increase in closed porosity as the result of the forming of the solid mosaic hydrophobic films on the surface, which has a positive effect on many of the technological characteristics of magnesia materials.

Keywords: magnesia binders, amorphous silica, plasticizer, structural characteristics, water resistance, salt resistance, density, porosity

For citation. Belous N. Ch., Rodtsevich S. P., Opanasenko O. N., Krutko N. P., Smychnik A. D. The influence of the structural characteristics of magnesia binders on their water and salt resistance. *Vesti Natsyional'noi akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navuk=Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 118–125 (In Russian).

Введение. Магнезиальные вяжущие (МВ), как и другие виды минеральных систем, являются капиллярно-пористыми материалами, структура которых оказывает большое влияние на спектр их свойств. Основным недостатком МВ – низкая водостойкость, позволяющая использовать их лишь в условиях, исключающих попадание влаги. Этот недостаток снижает долговечность материалов и ограничивает области применения, уменьшая их экологическую привлекательность [1–3]. Для образцов МВ классического состава характерна гигроскопичность, достигающая 7–8 %, коэффициент размягчения, не превышающий 0,3–0,5, водопоглощение ~ 10–15 % и открытая пористость, составляющая 13–15 %.

С целью повышения водостойкости МВ их модифицируют добавками, оказывающими влияние на структуру, физико-механические и гидрофизические свойства. Многие характеристики МВ, такие, как прочность, теплопроводность, водопоглощение, водо-, соле-, морозостойкость, водонепроницаемость, существенно зависят от величины, вида, размера, формы пор, а также их распределения в объеме магнезиального камня. Так, известно о существовании корреляции между открытой пористостью, водопроницаемостью и водопоглощением МВ, а также закрытой пористостью и их долговечностью [2].

Цель данной работы – исследование влияния аморфного кремнезема, а также комбинированных полифункциональных добавок аморфного кремнезема с нафталинсульфоновым суперпластификатором или парафиновыми эмульсиями на характеристику пористой структуры и технологические свойства МВ.

Методика эксперимента. При выполнении исследований использовались следующие вещества: активный порошок – продукт обжига (ПО) гидроксида магния при 600 °С (2 ч), отсеянный на сите № 008 и хранившийся в герметичной таре; жидкость затворения (ЖЗ) – 32 %-ный раствор бишофита с добавками хлоридов натрия и калия, плотность – 1,24 г/см³, рН 5,3, содержание MgCl₂ – 20,9 %, суммарное содержание NaCl + KCl – 7,6 %; аморфный кремнезем (АК) Frem Silica-1, пылевидный побочный продукт производства ферросилиция, не требующий дополнительного помола (ТУ ВУ 190669631.001-2011, ООО «Фрэймхаустрэйд», Минск), удельная поверхность ~ 20 м²/г, насыпная плотность – 200 кг/м³, массовая доля конденсированного кремнезема не менее 90 %; суперпластификатор (СП) СЗ на основе сульфированных нафталинформальдегидных соединений, анионоактивное ПАВ (ТУ ВУ 190669631.009-2011, ООО Фрэймхаустрэйд, Минск); гидрофобизатор – 55 %-ная парафиновая эмульсия (ПЭ) «БелВакс» (ОАО «Завод горного воска», РБ), эмульсия первого рода, полученная на смешанном сырье (парафин+гач), характеризуется рН 9, динамической вязкостью 310 мПа с, средним размером частиц 0,5 мкм, ее гидрофобизирующая эффективность может быть оценена по показателю снижения водопоглощения МВ, модифицированных ПЭ.

Оценены структурные характеристики следующих составов, мас. ч :

1. ПО – 100 ч, ЖЗ – 140 ч;
2. ПО – 100 ч, АК – 20 ч, ЖЗ – 170 ч;
3. ПО – 100 ч, АК – 20 ч, СЗ – 1ч, ЖЗ – 150 ч;
4. ПО – 100 ч, АК – 20 ч, ПЭ – 2 ч, ЖЗ – 170 ч;
5. ПО – 100 ч, АК – 20 ч, ПЭ – 1 ч, СЗ – 1 ч, ЖЗ – 140 ч.

При формировании составов АК добавляли к ПО, сухую смесь перед затворением тщательно перемешивали, ПЭ и СЗ в рассчитанных количествах вводили в жидкости затворения, таким же образом в МВ вводили комплексную добавку (КД) ПЭ+СЗ (состав 5). Изучали поведение при длительном хранении комплексной пастообразной добавки повышенной вязкости, полученной при смешивании ПЭ и СЗ в массовом соотношении 1:1, а также ее разбавленных водных растворов. Установлено, что в течение года и та, и другая КД сохраняют внешний вид, гидрофобизирующую и пластифицирующую активность.

Перед проведением исследований, образцы МВ отверждали на воздухе в течение 28 сут при температуре 20 °С и влажности ≤ 60 %. Изучали следующие структурные параметры МВ: кажущуюся, истинную плотность, общую, открытую, закрытую пористость, коэффициент плотности.

1. Расчет кажущейся плотности образцов кубической формы проводили по формуле: $\rho_k = M/V$ [7], измеряя их грани и рассчитывая объем (V , см³), затем образцы взвешивали, определяли массу (M , г). При отсутствии правильной формы образцов использовали метод гидростатического взвешивания [7], в соответствии с которым образцы взвешивали в насыщающей жидкости (нами использован этиловый спирт). Расчет вели по формуле: $\rho_k = M_1\rho_{э.с} / M_3 - M_2$, где M_1 – масса сухого образца, г; M_3 – масса насыщенного в спирте образца, г; M_2 – масса образца при его полном погружении в этиловый спирт; $\rho_{э.с}$ – плотность этилового 95 %-ного спирта при 20 °С (0,81 г/см³).

2. Истинную плотность ($\rho_{и}$) – массу единицы объема материала в отсутствие пор и пустот, зависящую от состава МВ, вида и содержания заполнителей и добавок, определяли пикнометрически по [6,8]. Согласно литературным данным, оксид магния (ч.) имеет истинную плотность ~ 3,0–3,1, каустический магнезит ~ 3,15–3,4, доломит ~ 2,78–2,85, аморфный кремнезем ~ 2,0–2,2 г/см³ [5, 12].

Большинство методик определения истинной плотности несовершенно, а одним из существенных недостатков является неправильный выбор жидкости насыщения. В результате не все ее молекулы попадают в микропоры вяжущих, что приводит к занижению значений их истинной плотности. В качестве жидкости насыщения большинства видов минеральных вяжущих используют дистиллированную воду [6,8], однако однозначно говорить об индифферентности воды к МВ не представляется возможным. По этой причине для насыщения нами был использован этиловый спирт (95 %). МВ дробили, размалывали до порошка (прохождение через сито № 0063) и высушивали при температуре 105–110 °С до постоянной массы. Истинную плотность рассчитывали по формуле: $\rho_{\text{и}} = M\rho_{\text{э.с.}} / (M + M_1 - M_2)$, где $\rho_{\text{и}}$ – истинная плотность МВ, г/см³; $\rho_{\text{э.с.}}$ – плотность этилового спирта (95 %), г/см³; M – навеска порошка, высушенного до постоянной массы, г; M_1 – масса пикнометра с жидкостью, г; M_2 – масса пикнометра с навеской и жидкостью после удаления пузырьков воздуха, г.

3. Общая пористость МВ, представляющая собой суммарное содержание открытых и закрытых пор, изменяется при варьировании водоцементного отношения, введении наполнителей, пластифицирующих, гидрофобизирующих, воздухоовлекающих добавок. В экспериментально-расчетном методе определения общей пористости (%) используются ранее представленные и вычисленные опытным путем значения плотностей: $P_{\text{общ}} = [1 - (\rho_{\text{к}}/\rho_{\text{и}})] \cdot 100$ %, где: $P_{\text{общ}}$ – общая пористость материала, %; $\rho_{\text{и}}$ – истинная и $\rho_{\text{к}}$ – кажущаяся плотность материала, г/см³ [7]. Расчет открытой пористости, % (отношение объема пор, насыщающихся этиловым спиртом до постоянной массы, к объему МВ, V), проводят по формуле: $P_{\text{откр}} = (M_3 - M_1)100/V\rho_{\text{э.с.}}$ или $P_{\text{откр}} = (M_3 - M_1)100/(M_3 - M_2)$, где M_1 – масса сухого образца, г; M_3 – масса насыщенного спиртом образца, г; M_2 – масса образца, при его полном погружении в спирт; $\rho_{\text{э.с.}}$ – плотность 95 %-ного этилового спирта при 20 °С (0,81 г/см³). Закрытая пористость (%) рассчитана по формуле: $P_3 = P_{\text{общ}} - P_{\text{откр}}$.

4. Коэффициент плотности (%) характеризует степень заполнения объема материала твердым веществом и вычисляется по формуле: $K_{\text{пл}} = \rho_{\text{к}}/\rho_{\text{и}} \cdot 100$.

Полученные структурные характеристики МВ представлены в таблице. Проведено их сопоставление с некоторыми свойствами МВ. Так, изучена кинетика набора прочности при сжатии образцов, твердевших 28 сут на воздухе при 20 °С и относительной влажности воздуха ≤ 60 % [10, 11], водопоглощение ($B_{\text{м}}$, мас.%) по методике [9], солепоглощение ($C_{\text{м}}$) – контролем за изменением массы образцов после 28-суточного выдерживания в 10 %-ном растворе хлорида магния. Расчет $C_{\text{м}}$ проводили по формуле: $C_{\text{м}} = 100(m_{\text{с}} - m_{\text{исх}})/m_{\text{исх}}$, где $m_{\text{исх}}$ – масса образца, твердевшего при естественной влажности, г; $m_{\text{с}}$ – масса образца, насыщенного в соли, г.

Результаты исследований и их обсуждение. Гидравлическая активность, удельная поверхность и гранулометрический состав АК определяют водопотребность магниезальных кремнеземсодержащих систем и играют важную роль в механизме его взаимодействия с продуктами твердения МВ. Известным является факт увеличения водостойкости МВ в присутствии активных кремнеземистых наполнителей [4, 5], кольматирующих поровое пространство кремниевой кислотой и формирующих смешанные Mg–Si–Mg структуры. АК, используемый в работе, представляет собой конденсированный аэрозоль, содержащий ультрадисперсные частицы сферической формы со средним диаметром 0,1 мкм, такая его форма способствует повышению равномерности распределения в магниезальных растворах, росту их удобоукладываемости и перекачиваемости, предотвращает расслоение и водоотделение, что приобретает большое значение, например, при их применении для тампонажа скважин.

В работе [5] с помощью микроскопических исследований показано, что в бездобавочном МВ формируются коагуляционная и кристаллизационная, а в составах, модифицированных кремнеземистыми наполнителями, еще и конденсационная структуры. Использование АК способствует небольшому снижению средней, истинной плотности и коэффициента плотности модифицированных систем, повышению их общей пористости, обусловленному высокой водопотребностью наполнителя и выбранным в связи с этим жидко-твердым соотношением. Благодаря кольматирующему эффекту кремниевой кислоты, содержание закрытых, водонепроницаемых пор немного возрастает (таблица), однако, несмотря на небольшие изменения структурных показателей водостойких структур при направленном формировании Si–O–Mg [14], их гидрофизические свойства изменяются более существенно.

Структурные характеристики и свойства магнезиальных вяжущих
Structural characteristics and properties of magnesia binders

Структурные характеристики и функциональные свойства МВ	Номера составов образцов				
	1	2	3	4	5
Жидко-твердое соотношение	1,4	1,7	1,6	1,7	1,4
Средняя плотность, г/см ³	1,57	1,45	1,66	1,4	1,37
Истинная плотность, г/см ³	2,27	2,15	2,16	2,14	2,15
Общая пористость, %	31	32,6	23,1	34,6	36,3
Открытая пористость, %	19,5	19,7	13,5	11,2	14,5
Закрытая пористость, %	11,5	12,9	9,6	23,4	21,8
Коэффициент плотности, %	69,2	67,4	76,9	65,4	63,7
Прочность при сжатии, 28 сут, твердение на воздухе, МПа	43,7	40,7	48,0	42,8	62
Прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии, 28 сут, МПа	Разрушается через 3 сут	12	20	18	15
Водопоглощение, 28 сут, %	-7	2,6	1,4	1,1	4
Прочность при сжатии в соленасыщенном состоянии, 28 сут, МПа	Разрушается через 3 сут	14	25	20	21
Солепоглощение, 28 сут, %	1,5	3,5	2,9	1,2	5

Наиболее информативными являются показатели прочности при сжатии материалов после твердения в воздушно-сухих условиях (рис. 1), а также ее изменения после хранения образцов в воде и в растворе соли (рис. 2 и 3). Установлено, что в присутствии АК формируются продукты твердения, заполняющие крупные поры и залечивающие микротрещины в зоне контактов, при этом в работе [15, с. 559] констатируется снижение почти в 3 раза показателя среднего размера открытых капиллярных пор при введении АК. При оптимальном содержании кремнеземистого наполнителя показатель однородности увеличивается более чем в 2 раза, а показатель среднего размера пор снижается почти в 3 раза. Такие изменения поровой структуры, как следует из [4, 5, 12], способствуют повышению прочности, водо- и коррозионной стойкости МВ. Нами установлено, что введение 20 мас.% АК, не оказывая существенного влияния на прочность МВ при их воздушно-сухом отверждении (рис. 1, ст. 1, 2), существенно повышает их водо- и солестойкость (рис. 2 и 3, ст. 1 и 2). Немодифицированные составы МВ подвергаются разрушению уже через 3 сут экспозиции в воде, в то время как присутствие в них АК позволяет сохранить высокую прочность (~ 12–14 МПа) и после 28 сут хранения в воде и в растворе соли. Химическое взаимодействие между основным и кислотным оксидом и образование магнезио-кремнеземистых соединений типа сепиолита ($Mg_4(Si_6O_{15})(OH)$ [14]) обуславливают улучшение гидрофизических показателей и коррозионной стойкости магнезиального камня.

Решающим фактором улучшения технологических характеристик (повышения водонепроницаемости, стойкости в условиях капиллярного подсоса воды и растворов солей, уплотнения структуры) является комплексное введение в МВ наряду с АК суперпластифицирующих и гидро-

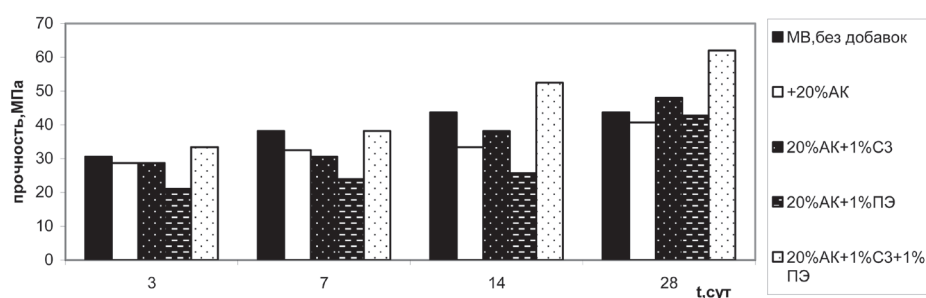


Рис. 1. Кинетика набора прочности МВ при твердении в воздушно-сухих условиях

Fig. 1. Kinetics of the strength gain of MB at hardening in air-dry conditions

фобизирующих добавок [5, 15]. Если при введении СП эффект достигается путем повышения плотности пластифицированных систем, то при использовании гидрофобизаторов – образованием на твердых поверхностях МВ мономолекулярных мозаичных пленок. В настоящее время в промышленных масштабах производится ряд комплексных модификаторов на основе кремнезема и СП, например модификатор МБ-01 [15, с. 549], представляющий собой гранулы микрокремнезема, покрытые адсорбционной пленкой СП СЗ, при его растворении в водных растворах происходит дезагрегация гранул, разрушение пленки и порционное поступление в жидкую фазу суперпластифицирующей добавки. Увеличение содержания жидкой фазы в МВ в результате введения АК компенсируется дополнительным использованием СП, а эффективность кремнезема в присутствии СП существенно возрастает.

Свойства СП связаны с их способностью адсорбироваться на поверхностях гидратных образований и образовывать пространственные коагуляционные структуры в объеме и в поверхностных слоях МВ. При введении СЗ, характеризующегося хорошей адсорбционной и пластифицирующей способностью, обусловленной присутствием нафталинового радикала большой молекулярной массы и функционально активных сульфоновых групп, наблюдается сильный диспергирующий эффект частиц магнезита и наполнителя. При этом ускоряется гелеобразование и кристаллизация МВ, наблюдается интенсификация набора прочности, на 12 % снижается водопотребность смесей, что позволяет уменьшить содержание жидкой составляющей в МВ и уплотнить капиллярно-пористую структуру пропорционально ее содержанию. Адсорбционные слои СП, образовавшиеся на поверхности твердых фаз МВ, сглаживают микрошероховатости частиц, уменьшают коэффициент трения между ними и затрудняют их коагуляцию до крупных блоков, что дает возможность получать плотные мелкозернистые магнезиальные структуры (таблица).

На развитие процессов разрушения МВ в воде и в растворах солей оказывают значительное влияние микро- и макроструктура магнезиального камня, взаимное расположение и абсолютные размеры его открытых и закрытых капилляров и пор, однородность структуры и степень гидрофобизации внутренней поверхности. Изучение структурных характеристик МВ, содержащих комбинированную добавку АК и СЗ (состав 3), показало, что (в среднем) на ~ 14 % повышается средняя плотность и коэффициент плотности МВ, снижается на ~ 29 % их общая пористость, на 31 % – открытая пористость, на ~ 26 % – закрытая пористость материалов. Это оказывает влияние на кинетику набора прочности МВ при твердении на воздухе (таблица, рис. 1, ст. 3) и сохранение прочностных характеристик после хранения в воде и в растворе соли (рис. 2 и 3, ст. 3).

При использовании в МВ комбинированных добавок АК и парафиновых эмульсий (состав 4) общая пористость и коэффициент плотности существенно не изменяются, однако в результате кольматации капиллярно-пористой структуры парафиновыми пленками наблюдается снижение открытой пористости и увеличение закрытой пористости материалов в среднем в ~1,8 раза. В результате ориентации пленок радикалами в сторону внутривидовой жидкости снижается интенсивность капиллярного подсоса, увеличивается жизнеспособность МВ и замедляется их гидратация. Получение стабильной системы гидрофобизированных условно замкнутых пор

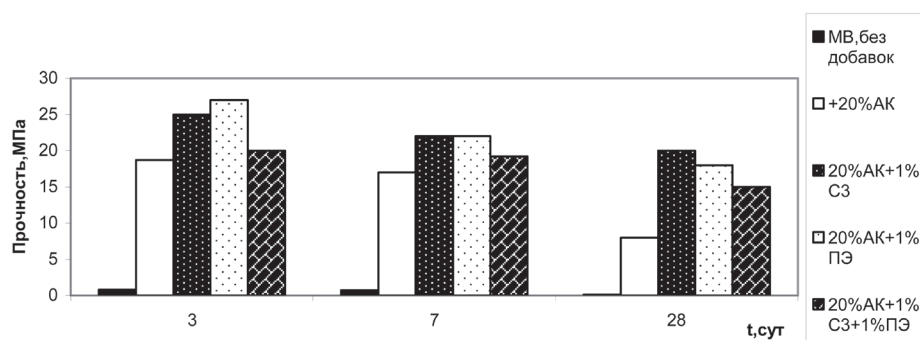


Рис. 2. Изменение прочности МВ при хранении в воде

Fig. 2. Changes in density of MB when stored in water

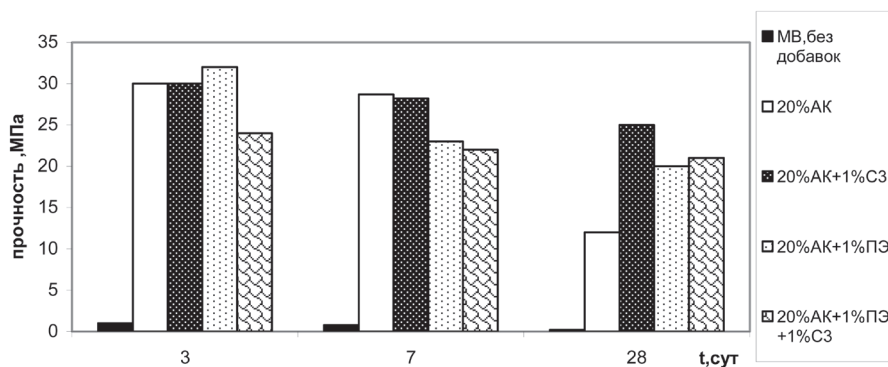


Рис. 3. Изменение прочности МВ при хранении в 10 %-ном растворе хлорида магния

Fig. 3. Changes in density of MB when stored in 10 % magnesium chloride solution

и капилляров сказывается и на гидрофизических свойствах и солестойкости МВ, содержащих ПЭ (таблица, рис. 2 и 3, ст. 4). На начальных стадиях испытаний (3 сут) гидрофобизация стенок пор и капилляров имеет преобладающее влияние на технологические свойства материалов (рис. 2 и 3, ст. 4), однако в условиях их длительного хранения в воде и в растворе соли (28 сут) наибольший вклад в улучшение свойств вносит образование мелкодисперсных плотных структур, таких как в образце 3 (рис. 2 и 3, ст. 3), которые характеризуются наибольшей водо- и солестойкостью.

Одним из путей повышения эффективности модификации является создание специфической пористой структуры с системой мелких, равномерно распределенных, мозаично гидрофобизированных внутренних пор и капилляров [15]. Как показало использование комплексной добавки СЗ+ПЭ, сочетание ее компонентов с аморфным кремнеземом (состав 5) обеспечивает в результате их синергетического эффекта наиболее высокую прочность МВ при отверждении в воздушно-сухих условиях ($\sigma_{сж}$ – 62 МПа) (рис. 1, ст. 5). Однако влияние комплекса АК+СЗ+ПЭ на водо- и солестойкость МВ не очень высокое ($\sigma_{сж}$ после 28-суточной экспозиции в воде и в растворе соли не превышает 21 МПа) (рис. 2 и 3, ст. 5).

Вывод. Таким образом, в результате проведенных исследований установлена взаимосвязь пористой структуры магниевых вяжущих с их физико-механическими и гидрофизическими свойствами. Показано положительное влияние аморфного кремнезема Frem Silica-1, его комбинированных добавок с нафталинсульфоновым суперпластификатором, парафиновой эмульсией, а также комплексной добавкой, содержащей их смесь, на прочность при твердении в воздушно-сухих условиях полученных материалов. Установлено, что введение суперпластификатора СЗ и парафиновой эмульсии дает возможность увеличить водо- и солестойкость магниевых структур в результате повышения их плотности или закрытой пористости, обусловленной формированием на поверхности твердых фаз мозаичных парафиновых пленок.

Список использованных источников

1. Устинова, Ю. В. Повышение водостойкости магниевых вяжущих / Ю. В. Устинова, А. Е. Насонова, В. В. Козлов // Вестник МГСУ. – 2010. – Т 3, № 4. – С. 123–127.
2. Насонова, А. Е. Экологически обоснованное модифицирование строительных материалов на примере изделий из каустического магнетита: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 03.02.08 / А. Е. Насонова. – М., 2014. – 24 с.
3. Зимич, В. В. Влияние различных видов затворителей на гигроскопичность магниевых вяжущих / В. В. Зимич, Л. Я. Крамар, Б. Я. Трофимов // Вестник ЮУрГУ. – 2008. – № 12. – С. 13–18.
4. Пустовгар, А. П. Эффективность добавок микрокремнезема при модификации бетона [Электронный ресурс] / А. П. Пустовгар // СтройПРОФИль. – 2005. – № 8. – Режим доступа: <http://stroyprofile.com/archive/1980>.
5. Крамар, Л. Я. Теоретические основы и технология магниевых вяжущих и материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Л. Я. Крамар. – Челябинск: ЮУрГУ, 2007. – 335 с.
6. ГОСТ 2211–65. Огнеупоры и огнеупорное сырье. Методы определения плотности. – Введ. 1966–07–01. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1966. – 11 с.
7. ГОСТ 2409–95. Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения. – Введ. 1997–01–01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1997. – 11 с.

8. ГОСТ 7025–91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. – Введ. 1991–07–01. М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1991. – 12 с.
9. ГОСТ 12730.3–78. Бетоны. Методы определения водопоглощения. – Введ. 1980.01.01. – М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.
10. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Введ. 2012–12.27. – М.: Стандартинформ, 2013. – 36 с.
11. ГОСТ 53231–2008. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – Введ. 2010.01.01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 12 с.
12. Лохова, Н. А. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема / Н. А. Лохова, И. А. Макарова, С. В. Партаманская. – Братск: БрГТУ, 2002. – 163 с.
13. Хигерович, М. И. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов / М. И. Хигерович, В. Е. Байер. – М.: Стройиздат, 1979. – 125 с.
14. Комплексные фосфорсодержащие добавки, повышающие водо- и солестойкость магниезальных материалов / Н. Х. Белоус [и др.] // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сб. науч. ст. Междунар. науч.- практ. конф. – Брест: БрГТУ, 2016. – Ч. I. – С. 115–120.
15. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны: теория и практика / В. Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1998. – 748 с.

References

1. Ustinova Yu. V., Nasonova A. E., Kozlov V. V. Improvement of the magnesium binding materials Water resistance. *Vestnik MGSU = Proceedings of Moscow State University of Civil Engineer*, 2010, vol. 3, no. 4, pp. 123–127 (in Russian).
2. Nasonova A. E. *Environmentally sound modification of building materials in case of products made from caustic magnesite*. Moscow, 2014. 24 p. (in Russian).
3. Zimich V. V., Kramar L. Y., Trofimov B. I. Effect of different types of grouting fluids on a hygroscopicity of magnesia stone *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the South Ural State University*, 2008, no. 12, pp. 13–18 (in Russian).
4. Pustovgar A. P. *The effectiveness of silica fume additives in concrete modification*. *Stroyprofile*. 2005, no. 8. Available at <http://stroyprofile.com/archive/1980/> (Accessed 30 December 2017) (in Russian).
5. Kramar L. Y. *Theoretical bases and technology of magnesia binders and materials*. Chelyabinsk, 2007. 335 p. (in Russian).
6. *State Standard 2211–65. Refractories and refractory raw materials. Methods for determining the density*. Moscow, Gosstandart of the USSR, 1966. 11p. (in Russian).
7. *State Standard 2409–95. Refractories. Method for determination of apparent density, open and total porosity, water absorption*. Moscow, Standartinform Publ., 1997. 11 p. (in Russian).
8. *State Standard 7025–91. Brick and stones, ceramic and silicate. Methods for determination of water absorption, density and frost resistance control*. Moscow, Gosstandart of the USSR, 1991. 12 p. (in Russian).
9. *State Standard 12730.3–78. Concretes. Methods for determination of water absorption*. Moscow, Gosstandart of the USSR, 1980. 7 p. (in Russian).
10. *State Standard 10180–2012. Concretes. Methods for determining the strength of control samples*. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 36 p. (in Russian).
11. *State Standard 53231–2008. Concretes. Monitoring and evaluation of the strength Regulations*. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 12 p. (in Russian).
12. Lokhova N. A., Makarova I. A., Patamanska S. V. *Fired materials based on silica fume*. Bratsk, Bratsk State University, 2002. 163 p. (in Russian).
13. Higerovich M. I., Bayer V. E. *Hydrophobic plasticizing additives for cements, mortars and concretes*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979. 125 p. (in Russian).
14. Belous N. Ch., Rodtsevich S. P., Opanasenko O. N., Krutko N. P., Smychnik A. D. Complex phosphorus-containing additives, which increase water and salt resistance of magnesia materials. *Aktual'nyye nauchno-tekhnicheskiye i ekologicheskiye problemy sokhraneniya sredy obitaniya. Sb. nauchnykh statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chast' I*. [Actual scientific-technical and environmental problems of preservation of the environmen. Coll. scientific articles of the International scientific-practical conference. Part I]. Brest, Brest State Technical University, 2016, pp. 115–120 (in Russian).
15. Batrakov V. G. *Modified concretes. Theory and practice*. Moscow, Stroyizdat Publ, 1998. 748 p. (in Russian).

Информация об авторах

Белоус Наталия Хасеньевна – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9, к.1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: rodtsevich@igic.bas-net.by

Родцевич София Павловна – науч. сотрудник, 220125, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, (ул. Сурганова, 9, к.1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: rodtsevich@igic.bas-net.by

Information about the authors

Natalia Ch. Belous – Ph. D. (Chemistry), Senior researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rodtsevich@igic.bas-net.by

Sofiya P. Rodtsevich – Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rodtsevich@igic.bas-net.by

Опанасенко Ольга Николаевна – канд. хим. наук, зав. лаб. нефтяных и органоминеральных дисперсий, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9, к.1, 220072 Минск, Республика Беларусь). E-mail: ionch@igic.bas-net.by

Крутько Николай Павлович – академик, д-р хим. наук, зав. отделом композиционных материалов, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9, к.1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: krutko@igic.bas-net.by

Смычник Анатолий Данилович – член-корреспондент, д-р техн. наук, профессор, техн. директор, ООО «К-Поташ Сервис» (ул. Кутузова, 26, 236010, Калининград, Российская Федерация).

Olga N. Opanasenko – Ph. D. (Chemistry), Head of the Laboratory, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ionch@igic.bas-net.by

Nikolai P. Krutko – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Department, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: krutko@igic.bas-net.by

Anatoly D. Smychnik – Corresponding Member, D. Sc. (Engineering), Professor, Engineering Director, ООО “K-Potash Servis” (26, Kutuzov Str., 236010, Kaliningrad, Russian Federation). E-mail: an.smy@k-potash.ru