УДК 666.914.5:663.543:002.68

ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКСИДА МАГНИЯ С РАСТВОРАМИ СОЛЕЙ-ЭЛЕКТРОЛИТОВ

ДЕРЕВЯНКО В. Н.[1], *д. т. н., проф.,*
МАКСИМЕНКО А. А.[2], *к. т. н.,*
БЕГУН А. И.[3], *к. т. н., доц.,*
ГРИШКО А. Н.[4*], *к. т. н., ст. преп.*

[1] Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

[2] Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций (НИ группа), Приднепровский научно-образовательный институт инновационных технологий в строительстве ГВУЗ ПГАСА, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: maksimebel@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5002-6266

[3] Кафедра эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 713-51-37

[4*] Кафедра эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 713-51-37, e-mail: gryshko_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

Аннотация. ***Постановка проблемы.*** Гидратация магнезиального цемента протекает очень медленно, т.к. его зерна покрываются пленкой из $Mg(OH)_2$, которая препятствует доступу воды к MgO. К тому же известно, что периклазовые и магнезиальные цементы, обладающие зернами пережога, могут затворяться растворами различных солей, в результате чего изменяются сроки схватывания и прочностные характеристики [5; 6]. ***Цель стать.*** Создание быстротвердеющей и прочной структуры магнезиального камня путем активации MgO растворами солей-электролитов. Представлены результаты гидратации MgO в растворах солей-электролитов – $MgCl_2$ и $MgSO_4$. ***Вывод.*** Определено, что для создания быстротвердеющей и прочной структуры магнезиального камня необходимо обратиться к методу активации MgO солями электролитов, а также подобрать из техногенных продуктов кремнеземсодержащий компонент, обладающий удельной поверхностью зерен более 10 000 $см^2$/г. У образцов, гидратированных в растворах $MgCl_2$ различной концентрации, наблюдаются два эндотермических эффекта выделения кристаллизационно воды при 160 и 240°С. Эндотермический эффект разложения гидрооксида магния смещается до 380°С. При 10 и 15% концентрациях $MgCl_2$, кроме указанных эффектов, наблюдаются эндотермические эффекты при 415, 500 520°С, связанные с разложением образующихся при данных концентрациях небольших количеств оксигидрохлорида магния. Установлено, что при небольших концентрациях растворов (≈ 5 %) гидроксид магния образует с ними твердые растворы. По данным термогравиметрического и химического анализов, твердый раствор $Mg(OH)_2$, полученный гидратацией MgO в 5 % растворах $MgCl_2$ и $MgSO_4$, имеет следующий предельный состав: $[Mg(OH)_{1,88}·Cl_{0,22}]·0,20H_2O$ и $[Mg(OH)_{1,86}·(SO_4)_{0,07}]·0,23H_2O$. При затворении цемента MgO растворами низкой концентрации менее 1,5 мол/л (13 % или 1,1 $г/см^3$) конечным продуктом в структуре камня является $Mg(OH)_2$.

Ключевые слова: *соли-электролиты, каустический магнезит, затворитель, сроки схватывания, рентгенофазовый анализ, термогравиметрический анализ.*

ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ОКСИДУ МАГНІЮ З РОЗЧИНАМИ СОЛЕЙ-ЕЛЕКТРОЛІТІВ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.[1], *д. т. н., проф.,*
МАКСИМЕНКО А. А.[2], *к. т. н.,*
БЄГУН А. І.[3], *к. т. н., доц.,*
ГРИШКО Г. М.[4*], *к. т. н., ст. викл.*

[1] Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCIDID: 0000-0003-4131-0155

[2] Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, (НД) Придніпровський науково-освітній інститут інноваційних технологій в будівництві ДВНЗ ПДАБА, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: maksimebel@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5002-6266

[3] Кафедра експлуатації гідромеліоративних систем і технології будівництва, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 713-51-37

[4*]Кафедра експлуатації гідромеліоративних систем і технології будівництва, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 713-51-37, e-mail: gryshko_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

Анотація. ***Постановка проблеми.*** Гідратація магнезіального цементу відбувається дуже повільно, тому що його зерна вкриваються плівкою із $Mg(OH)_2$, яка перешкоджає доступу води до MgO. До того ж відомо, що периклазові та магнезіальні цементи, які вміщують зерна перевипалу, можуть затворюватися розчинами різних солей, в результаті чого змінюються строки тужавлення і міцнісні характеристики [5; 6]. ***Мета статті.*** Створення швидкотверднучої і міцної структури магнезіального каменю шляхом активації MgO розчинами солей-електролітів. Наведено результати гідратації MgO в розчинах солей-електролітів– $MgCl_2$ і $MgSO_4$. ***Висновок.*** Визначено, що для створення швидкотверднучої і міцної структури магнезіального каменю необхідно звернутися до методу активації MgO солями електролітів, а також підібрати з техногенних продуктів кремнеземумісний компонент, який має питому поверхню зерен 10000 $см^2/г$. У зразків, гідратованих у розчинах $MgCl_2$ різної концентрації, спостерігаються два ендотермічні ефекти виділення кристалізаційної водиза 160 і 240°C. Ендотермічний ефект розкладення гідрооксиду магнію зміщується до 380°C. За 10 та 15% концентрацій $MgCl_2$, крім указаних ефектів, спостерігаються ендотермічні ефекти за 415, 500 520°C, пов’язані з розкладенням утвореної за даних концентрацій невеликої кількості оксигідрохлориду магнію. Встановлено, що за невеликих концентрацій розчинів (≈ 5 %) гідроксид магнію утворює з ними тверді розчини. За даними термогравіметричного і хімічного аналізів, твердий розчин $Mg(OH)_2$, одержаний гідратацією MgO в 5 % розчинах $MgCl_2$ і $MgSO_4$ має такий граничний склад: $[Mg(OH)_{1,88}{\cdot}Cl_{0,22}]{\cdot}0,20H_2O$ і $[Mg(OH)_{1,86}{\cdot}(SO_4)_{0,07}]{\cdot}0,23H_2O$. У разі затворення цементу MgO розчинами низької концентрації менше 1,5 мол/л (13 % чи 1,1 $г/см^3$) кінцевим продуктом у структурі каменю є $Mg(OH)_2$.

Ключові слова: *солі-електроліти, каустичний магнезит, затворювач, строки тужавлення, рентгенофазовий аналіз, термогравіметричний аналіз.*

STUDIES OF CHEMICAL INTERACTION OF MAGNESIUM OXIDE AND ELECTROLYTE SALT SOLUTIONS

DEREVIANKO V. N.[1], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*
MAKSIMENKO A. A.[2], *Cand. Sc. (Tech.).*
BEGUN A. I.[3], *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*
GRYSHKO H. M.[4*], *Cand. Sc. (Tech.), Senior Lecturer*

[1] Department of Technology of Construction Materials, Products and Designs, State Institution of Higher Education «Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a Chernyshevsky St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, Tel. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

[2] Department of Technology of building materials, products and designs (SR group) Pridneprovsk scientific-education Institute of innovations technologies in construction SHEI PSAGA, 24-a Chernyshevsky St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: maksimebel@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5002-6266

[3] Department of Operation of Hydromelioration Systems and Construction Technology, Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University, 25 Voroshylov St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, Tel. +38 (0562) 713-51-37

[4*] Department of Operation of Hydromelioration Systems and Construction Technology, Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University, 25 Voroshylov St., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, Tel. +38 (0562) 713-51-37, e-mail: gryshko_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

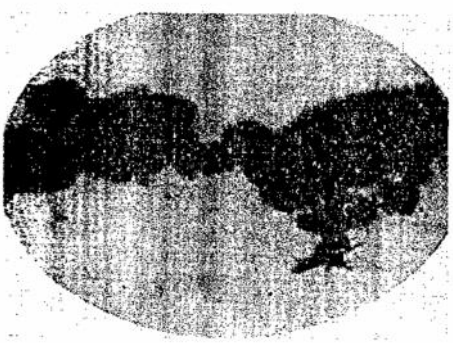
Summary. ***Problem statement.*** Magnesia cement hydration runs very slowly, because its grains are covered with $Mg(OH)_2$ coating, preventing the water access to MgO. It has been also known, that periclase and magnesia cements having burned grains can be gauged with solutions of various salts, thereby the setting time and the strength properties are changing [5; 6]. ***Purpose.*** Creation of fast-hardening and solid structure of magnesia stone by activating MgO with electrolyte salt solutions. The effects of MgO hydration in the electrolyte-salt solutions - $MgCl_2$ and $MgSO_4$ was shown. ***Conclusion.*** For the formation of magnesium stone with fast-hardening and solid structure was determined that it is necessary to apply to the method of activating MgO by electrolyte salts, and select a silica-containing component out of by-products with a surface area of grains more than 10,000 cm^2/g for the formation of waterproof magnesium silicate hydrate. Samples hydrated in $MgCl_2$ solutions of different concentrations exhibit two endothermic effects of the water of crystallization evolved at 160 and 240°C. The endothermic effect of magnesium hydroxide decomposition is shifted to 380°C. At 10 and 15 % $MgCl_2$ concentrations, besides the above mentioned effects, at 415, 500, 520°C there are observed endothermic effects, associated with the decomposition of small amounts of magnesium oxyhydrochloride at such concentrations. It has been established that at low solution concentrations (≈ 5 %) magnesium hydroxide forms solid solutions with them. According to the data of the thermal gravimetric and chemical analyzes, the solid $Mg(OH)_2$ solution, obtained by the hydration of MgO in 5 % $MgCl_2$ and $MgSO_4$ solutions, has the following limiting composition: $[Mg(OH)_{1,88}{\cdot}Cl_{0,22}]{\cdot}0,20H_2O$ and $[Mg(OH)_{1,86}{\cdot}(SO_4)_{0,07}]{\cdot}0,23H_2O$. When mixing cement by MgO solution of low concentration less 1,5 mol/l (13% or 1,1 g/sm) by end-product in stone structure is $Mg(OH)_2$.

Key words: *electrolyte salts, caustic magnesite, sealer, setting up time, x-ray phase analysis, thermal gravimetric analysis.*

Введение.Для гидратации и создания быстротвердеющей и прочной структуры магнезиального цемента в настоящее время широко применяются растворы солей электролитов.

Теоретические предпосылки. В водном растворе хлористого магния плотностью 15° по Боме (ρ = 1,12 г/см^3) процесс взаимодействия развивается настолько интенсивно, что уже через сутки зерна обожженного магнезита покрываются густым ворсом игольчатых кристаллов брусита. Вводном растворе сернокислого магния процесс гидратации MgO протекает медленнее, чем в растворе хлористого магния, и более заметно образование игольчатых кристаллов брусита (рис. 1).

Периклазовые и магнезиальные цементы, обладающие зернами пережога, могут затворяться растворами различных солей, в результате чего изменяются сроки схватывания и прочностные характеристики [5; 6]. Эти изменения представлены в таблицах 1 и 2.



а

б

Рис. 1. Микрофотографии обожженного магнезита:
а– затворенного раствором соли хлористого магния через 1 сутки твердения;
б– раствором сернокислого магния через 60 суток, (× 10000)

Таблица 1

Влияние вида затворителя на сроки схватывания периклазового цемента

Растворы солей	$MgCl_2$	$MgSO_4$	NaBr	KCl	NH_4NO_3	$Na_2HPO_4\cdot 12H_2O$	$Na_3PO_4\cdot 12H_2O$	H_2O
Нормальная густота, %	18,3	15,9	20,0	19,5	19,7	15,7	17,2	21,2
Сроки схватывания: -начало (ч;мин) -конец (ч;мин)	1ч^{55мин} 2ч^{55мин}	0ч^{43мин} 3ч^{01мин}	1ч^{10мин} 4ч^{45мин}	2ч^{00мин} 4ч^{50мин}	2ч^{45мин} 6ч^{25мин}	0ч^{43мин} 4ч^{56мин}	1ч^{25мин} 6ч^{49мин}	3ч^{00мин} 6ч^{05мин}

На твердение магнезиальных цементов большое влияние оказывает температура окружающей среды. В таблице 2 приводятся результаты испытаний прессованных образцов после воздушного твердения в возрасте 3 суток при t = 14 – 20°С.

Как видно из таблицы 2, увеличение температуры окружающей среды всего лишь на 1°С приводит к повышению прочности образцов не менее чем на 50кгс/см^2. В целом по скорости гидратации MgO и прочностным характеристикам испытанных образцов выбраны растворы $MgCl_2$ и $MgSO_4$.

По общепринятой схеме твердения, часть MgO в каустическом магнезите, затворенного электролитами $MgCl_2$ и $MgSO_4$, выделяется из раствора в виде $Mg(OH_2)$ после образования комплексов $[Mg(OH_2)_{4-x}\cdot OH]^+$, $[HO^- Mg(OH_2)_{6-x}\cdot Cl]$ и с выделением оксигидрохлорида магния [3]:

$$3\,MgO + MgCl_2\cdot 6H_2O \rightarrow 3\,MgO\cdot MgCl_2\cdot 6H_2O + 3Mg(OH)_2$$

Оксигидрохлорид может выделяться и с другим количеством воды, причем возможна и различная его основность. При длительном выдерживании оксигидрохлорида на воздухе образуется хлоркарбонат магния $Mg(OH)\cdot MgCl_2\cdot MgCO_3\cdot 6H_2O$.

В качестве промежуточных активных фаз еще до формирования структуры твердения вместе с небольшим количеством ионов Cl^-, H^+, OH^- возникают метастабильные соединения из радикалов $[Mg(OH)_2]^+$ и $[HO\cdot MgO]^-$ [5], причем первоначально в результате кислотно-основной реакции образуется $[HO^-\ Mg(H_2O)_{6-x}Cl^-]^+$. Другие метастабильные оксихлориды возникают в результате акцепторного взаимодействия ионов хлора с кислородом радикала $[HO^-\ MgO\cdot O]^-$, а стабильные оксигидрохлориды – за счет димеризации метастабильных.

Таблица 2

Влияние температуры на прочность магнезиального камня при воздушном твердении

Температура, °С	Затворители; Предел прочности при сжатии, кгс/см^2				
	H_2O	$MgCl_2$	$MgSO_4$	NaBr	$Na_2PO_4\cdot 12H_2O$
14-16	88	328	-	292	-
18-19	155	451	-	478	-
19-20	120	504	175	497	64

Вместе с тем, при фазовом анализе затвердевшего камня не всегда обнаруживалось наличие оксисолей магния, хотя прочностные показатели достигали высоких значений. Это показывает, что при гидратации MgO в солевом растворе должны происходить и другие, возможно, более сложные фазовые превращения, оставленные исследователями без внимания. При взаимодействии MgO с концентрированными растворами хлористого магния $3MgO\cdot MgCl_2\cdot 11H_2O$ (C_{MgCl2} ≥1,5 мол/л) конечным продуктом является оксигидрохлорид магния $3MgOMgCl_2\cdot 11H_2O$, а при меньших концентрациях хлористого магния – гидрооксид магния [7]. В системе $MgO\cdot–\cdot MgSO_4\cdot–\cdot H_2O$ гидратация MgO значительно ускоряется, растворимость его в растворе сульфата магния достигает 5,2 г/л [1; 3], а при концентрациях сульфата магния выше 17,5 % образуется оксигидросульфат магния – $2MgSO_4\cdot 3Mg(OH)_2\cdot 5H_2O$ [1]. В присутствии небольших количеств $MgCl_2$ и $MgSO_4$ процесс гидратации MgO сопровождается значительным гелеобразованием. Возникающая структура твердения при этом достигает высокой прочности, однако отличается низкой водостойкостью [4].

Результаты исследований. На рисунке 2 приведены ИК-спектры MgO, гидратированного с 5% растворами солей $MgCl_2$ и $MgSO_4$. MgO, гидратированный дистиллированной водой, в области валентных колебаний OH-групп имеет три полосы поглощения: широкую в интервале частот 3200 – 3 600 см$^{-1}$ и две узкие при 3 655 и 3 708 см$^{-1}$. В области деформационных OH^- колебаний наблюдаются три слаборазрешенные полосы при 1 440, 1 520 и 1 635 см$^{-1}$. При гидратации MgO в 5 % растворах $MgCl_2$ и $MgSO_4$ полоса 3200 – 3 600 см$^{-1}$ уширяется в сторону меньших волновых чисел до значения 2 900 см$^{-1}$; вместе с тем происходит значительное увеличение ее интенсивности.

При гидратации MgO в растворах интенсивность промежуточной полосы 3 655 см$^{-1}$, относимой к поверхностным гидроксильным группам, участвующим в образовании водородной связи, сильно уменьшается, в то время как интенсивность полосы отдельных гидроксильных групп при 3 708 см$^{-1}$ повышается. В длинноволновой области спектра у образцов гидроксида магния с добавкой $MgSO_4$ появляется полоса валентных колебаний SO_4^{2-} при 1 150 см$^{-1}$. У образцов, гидратированных растворами MgCl и $MgSO_4$, широкий компонент интенсивнее, чем у чистого гидрооксида магния, и увеличивается с повышением концентрации раствора. По ширине линии он соответствует жестко фиксированным молекулам кристаллизационной воды, которые, по-видимому, входят в решетку гидроксида магния совместно с анионами SO_4^{2-} и Cl^-.

По данным рентгенофазового анализа (рис. 3), при гидратации MgO в 10 %растворе $MgSO_4$ наряду с линиями гидрооксида магния появляется линия с межплоскостным расстоянием 2,02 Å, которая соответствует оксигидросульфату магния. При гидратации MgO в 10 % растворе $MgCl_2$ наблюдаются линии с межплоскостными расстояниями 3,88 Å и 2,72 Å, относимые к оксигидрохлориду магния. При повышении концентрации раствора растет их интенсивность.

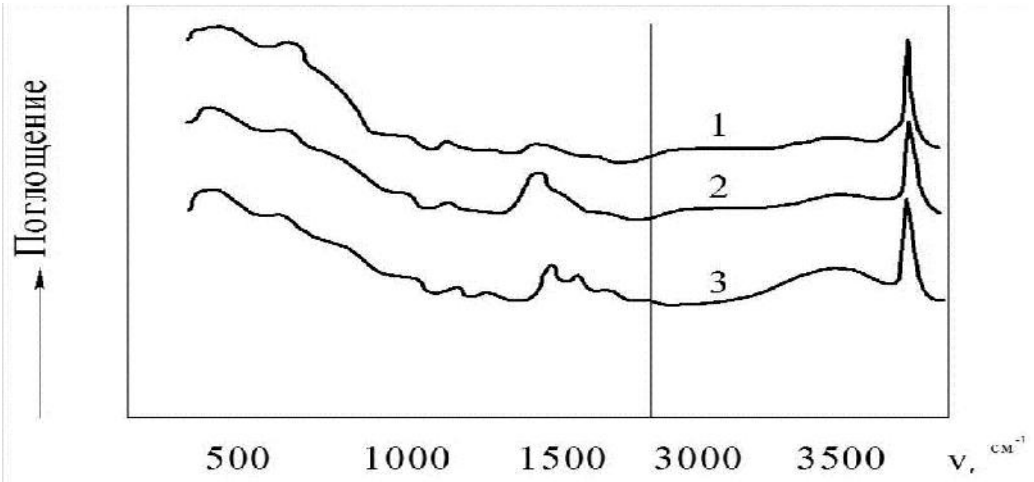


Рис. 2. ИК – спектры MgO, гидратированного различными растворами:
1 – в дистиллированной воде; 2 – в 5 % растворе $MgSO_4$; 3 – в 5 % растворе $MgCl_2$

При гидратации MgO в 10 % растворе $MgCl_2$ в области валентных колебаний молекул воды возникают две полосы при 3 575 и 3 675 $см^{-1}$, появление которых, по-видимому, обусловлено молекулами кристаллизационной воды оксигидрохлорида магния, возмущенными водородными связями различной энергии. В образцах, полученных путем гидратации в 10 % растворе $MgSO_4$, новые полосы поглощения по сравнению с 5 % раствором не установлены. Следует заметить, что полоса поглощения поверхностных гидроксильных групп, образующих водородную связь, с увеличением концентрации добавки при 3 655 $см^{-1}$ во всех случаях постепенно уменьшается.

Данные термогравиметрического анализа приведены в таблице 3. У образцов, гидратированных в растворах $MgCl_2$ различной концентрации, наблюдаются два эндотермических эффекта выделения кристаллизационно водыпри 160 и 240°С. Эндотермический эффект разложения гидрооксида магния смещается до 380°С. При 10 и 15 % концентрациях $MgCl_2$, кроме указанных эффектов, наблюдаются эндотермические эффекты при 415, 500 520°С, связанные с разложением образующихся при данных концентрациях небольших количеств оксигидрохлорида магния.

При использовании в качестве раствора $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ кристаллизационная вода такж выделяется в два этапа – при 110 °С и 180 °С.

Эндотермический эффект разложения гидрооксида магния смещается до 450 °С. При 10 и 15 % концентрациях раствора $MgSO_4$ наблюдаются эндотермические эффекты при 640 °С, относимые к оксигидросульфату магния.

Потери массы при прокаливании в интервале температур 300 – 600°С, без учета потерь массы до 300°С для образцов MgO, гидратированных в 5 % растворе $MgSO_4$, составляют 26,9 % и продолжают уменьшаться при увеличении концентрации раствора. Это дает основание полагать, что при образовании твердых растворов гидроксида и сульфата магния анионы SO_4^{2-} замещают гидроксильные группы, т.е. анионные узлы в образующейся решетке статистически распределены между OH^- и SO_4^{2-}. В случае образования твердых растворов гидроксида и хлорида магния наблюдается аналогичное явление.

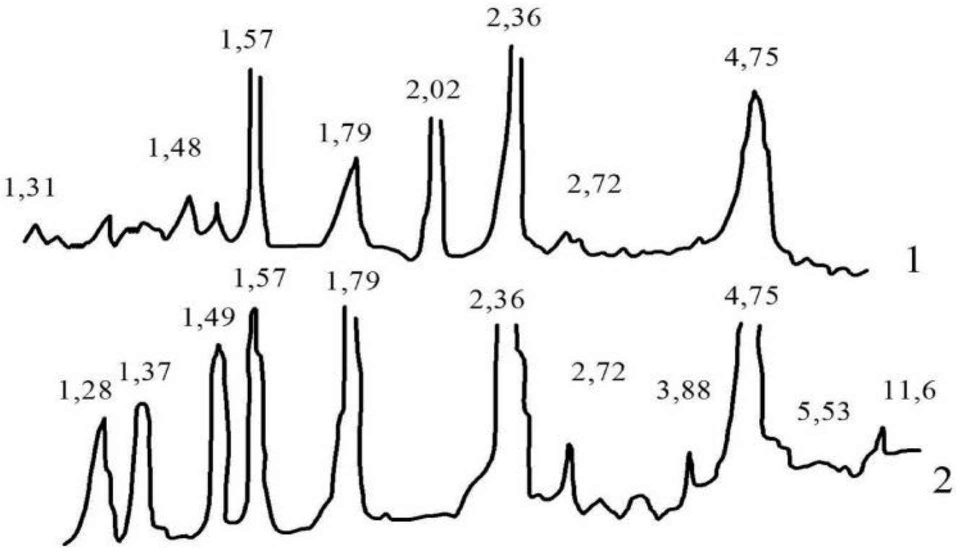


Рис. 3. Рентгенограммы MgO, гидратированного:
1 – в 10 % растворе $MgSO_4$; 2 – в 10 % растворе $MgCl_2$

Таблица 3

Данные термогравиметрического анализа по определению состава твердых растворов при гидратации MgO различными электролитами

MgO, гидратированный:	Температура эндотермических эффектов, °С	Потери массы при прокаливании до 300°С, %	Потери массы при прокаливании от 300 до 600 °С с учетом потерь до 300 °С, %	Количество анионов, включенных в твердый раствор, %
в воде [$Mg(OH)_2$]	365	-	30,8	-
в 5 % растворе MgCb	160, 240, 380	5,74	33,47	6,62
в 10 % растворе $MgCl_2$	160, 240, 380, 415 сл, 500, 520	8,5	33,23	-
в 15 % растворе $MgCl_2$	160, 240,380, 414 сл, 500, 520	12	35,22	-
в 5 % растворе $MgSO_4$	ПО, 180, 450	6,09	26,9	10,12
в 10 %растворе $MgSO_4$	ПО, 180, 450, 640	8,85	23,08	-
в 15 % растворе $MgSO_4$	ПО, 180,450. 640	10,6	20,38	-

Выводы.Изучение гидратации MgO в растворах $MgCl_2$ и $MgSO_4$ показывает, что при небольших концентрациях растворов (≈5 %) гидроксид магния образует с ними твердые растворы. Среднеквадратичные значения статистических искажений решетки данных твердых растворов зависят от вида аниона раствора и выражаются закономерностью SO_4^{2-}>Cl^-. По данным термогравиметрического и химического анализов, твердый раствор $Mg(OH)_2$, полученный гидратацией MgO в 5 % растворах $MgCl_2$ и $MgSO_4$, имеет следующий предельный состав: $[Mg(OH)_{1,88}\cdot Cl_{0,22}]\cdot 0,20H_2O$ и $[Mg(OH)_{1,86}\cdot (SO_4)_{0,07}]\cdot 0,23H_2O$ [4]. При более высоких концентрациях растворов $MgCl_2$ и $MgSO_4$ также должен выделяться гидроксид магния. Согласно теории Гольдшмидта, величины радиуса 0,2 нм 2,0 Å являются предельными при замещении гидроксильных групп (радиус 0,133 нм). Поэтому наряду с образованием твердых растворов в присутствии ионов SO_4^{2-} и Cl^- (радиусы 0,295 и 0,2 нм) [8] происходит процесс аморфизации продуктов гидратации и скопление в более крупные агрегаты, отличающиеся прочными силами сцепления.

Отметим влияние аниона SO_4^{2-} в формировании свойств магнезиального камня. Учитывая, что механическая прочность камня при затворении цемента раствором сернокислого магния, как в чистом виде, так и в соотношениях, указанных в [2], значительно уступает прочности образцов камня, полученных при затворении раствором хлористого магния.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Адомавичюте Б. Б. Изучение системы MgO-MgSO4-H2O / Адомавичюте Б. Б., Яницкий И. В., Викторис Б. Н. // Lietuvos TSR Mokslu Akademijos Darbai. Serija B : Chemija. – Vilnius, 1961. – № 2 (25). – С. 219-226.
2. Ваганов А. П. Ксилолит (производство и применение) / Вагонов А. П. ; [науч. ред. канд. техн. наук В. П. Шемяков]. – Ленинград ; Москва : Госстройиздат, 1959. – 144 с.
3. Зырянова В. Н. Физико-химические процессы при гидратационном твердении композиционных магнезиальных вяжущих веществ / В. Н. Зырянова, Г. И. Бердов, В. И. Верещагин // Современные проблемы производства и использования композиционных строительных материалов, 15-16 апреля, 2009 г. : материалы Всерос. конф. / Новосибир. гос. арх.-строит. университет. – Новосибирск, 2009. – С. 50-52.
4. Каминскас А. Ю. Технология строительных материалов на магнезиальном сырье. Комплексные методы определения пригодности сырья и способа производства / Каминскас А. Ю. – Вильнюс : Мокслас, 1987. – 344 с.
5. Пирогов А. А. Воздушнотвердеющие высокоогнеупорные магнезиальные бетоны / А. А. Пирогов // Огнеупоры и техническая керамика. – 1958. – № 10. – С. 445-455.
6. Пирогов Ю. А. Фосфатное связывание периклаза / Ю. А. Пирогов, А. И. Фишерова // Огнеупоры и техническая керамика. – 1969. – № 11. – С. 44-47.
7. Смирнов Б. И. Исследование химического взаимодействия окиси магния с растворами хлористого магния различных концентраций / Б. И. Смирнов, Е. С. Соловьева, Е. Е. Сегалова // Журнал прикладной химии. – 1967. – Т. 40, вып. 3. – С. 505-514.
8. Справочник химика : в 6 т. / гл. ред. Б. П. Никольский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва ; Ленинград : Госхимиздат, 1963-1967. – Т. 1 : Общие сведения строение важнейших веществ. Лабораторная техника. – 1963. – 1071 с.
9. Kasai J Mechanisme of the Hydration of Magnesia Cement / J. Kasai, M. Ihiba, M. Nakanara // Journal of the Physical Society of Japan. – 1960. – Vol. 63, № 7. – P. 1182-1184.

REFERENCES

1. Adomavichyute B. B., Janickiy I. V., Viktoris B. N. *Izuchenie sistemy MgO-MgSO$_4$-H$_2$O* [Study of MgO-MgSO4-H2O system]. Lietuvos TSR Mokslu Akademiyos Darbai. Serija B : Chemija. Vilnius, 1961, no. 2 (25), pp. 219-226. (in Russian).
2. Vaganov A. P. *Ksilolit (proizvodstvo i primenenie)* [Xylene (production and use)]. Leningrad, Moscow, Gosstroyizdat, 1959. 144 p. (in Russian).
3. Zyryanova V. N., Berdov G. I., Vereshchagin V. I. *Fiziko-himicheskie processy pri gidratacionnom tverdenii kompozicionnykh magnezial'nykh vjazhushhikh veshhestv* [Physical and chemical processes in the hydration hardening of composite magnesia binders] Sovremennye problemy proizvodstva i ispol'zovaniya kompozicionnykh stroitel'nykh materialov, 15–16 aprelya, 2009. Materialy Vseros. konf. Novosibir. gos. arhitekturno-stroit. universitet. – Modern problems of the production and use of composite building materials, 15-16 April, 2009. Proceedings of All-Russian conference of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering. Novosibirsk, 2009. pp. 50-52. (in Russian).
4. Kaminskas A. Ju. *Tehnologiya stroitel'nykh materialov na magnezial'nom syr'e. Kompleksnye metody opredelenija prigodnosti syr'ja i sposoba proizvodstva* [Technology of building materials magnesian materials. Complex methods for determining the suitability of materials and method of manufacture] Vil'nyus, Mokslas, 1987. 344 p. (in Russian).
5. Pirogov A. A. *Vozdushnotverdeyushie vysokoogneupornye magnezial'nye betony* [Air hardening high magnesia refractory concretes]. *Ogneupory i tehnicheskaya keramika* - Refractories and technical ceramics 1958, no.10, pp. 445-455. (in Russian).
6. Pirogov Ju. A., Fisherova A. I. *Fosfatnoe svyazyvanie periklaza* [Phosphate binding of periclase]. Ogneupory i tehnicheskaya keramika - Refractories and technical ceramics. 1969, no. 11, pp. 44-47. (in Russian).
7. Smirnov B. I., Solov'eva E. S., Segalova E. E. *Issledovanie himicheskogo vzaimodejstviya okisi magniya s rastvorami hloristogo magniya razlichnykh koncentraciy* [Study of the chemical interaction of magnesium oxide

with solutions of different concentrations of magnesium chloride]. Zhurnal prikladnoy himii - Journal of Applied Chemistry . 1967, vol. 40, no. 3, pp.. 505-514. (in Russian).

8. Nikol'skiy B. P. *Spravochnik himika : v 6 tomahk. Tom 1 : Obshhie svedeniya stroenie vazhneyshikh veshestv. Laboratornaya tehnika* [Chemist reference: in 6 volume .Volume 1 : The general information of the structure of the most important substances]. Moscow ; Leningrad, Goshimizdat, 1963. 1071 p. (in Russian).
9. Kasai J., Ihiba M., Nakanara M. Mechanisme of the Hydration of Magnesia Cement. Journal of the Physical Society of Japan. 1960, vol. 63, no. 7. pp. 1182-1184.

Стаття рекомендована до друку 06.07.2015 р.
Рецензент: д. т. н. Шпірько М. В.
Надійшла до редколегії: 17.06.2015 р. Прийнята до друку: 19.07.2015 р.