

## **ШТУКАТУРНЫЕ СОСТАВЫ НА МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ НАРУЖНЫХ РАБОТ\***

*В.В. Зимич*

В работе представлены исследования и разработка сухих строительных смесей для наружной отделки на основе магниезиального вяжущего пониженной гигроскопичности.

Ключевые слова: магниезиальные сухие строительные смеси, смеси для наружной отделки, гигроскопичность, прочность, водостойкость.

Сухие строительные смеси (далее ССС) занимают около 35 % всей промышленности строительных материалов России. Растущий спрос на них обуславливается, прежде всего, экономией дорогостоящих вяжущих веществ за счет использования пластифицирующих добавок, а также снижением расходов на транспортировку готовых смесей к месту их использования [1]. На рынке строительных материалов в настоящее время присутствуют только цементные, гипсовые и полимерные сухие строительные смеси. А на основе магниезиального вяжущего смесей, к сожалению, нет.

Это связано в первую очередь с тем, что магниезиальные вяжущие мало известны среди конечных потребителей и даже многих ученых. Причиной такой «скромности» данного вяжущего является отсутствие качественного магниезиального вяжущего строительного назначения в нашей стране, а также недостаточно информации о качественных материалах и изделиях на его основе (отсутствие нормативной базы – ГОСТов, ТУ на такие изделия).

Однако, проведенные литературные исследования показали [2, 3, 4], что на основе магниезиального вяжущего можно изготавливать широкую номенклатуру ССС (штукатурные составы, растворы, окрасочные составы, грунтовки и шпаклевки, смеси для полов и т.д.) с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

---

\*Исследования проведены за счет средств Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках реализации проекта «Разработка ресурсосберегающих экологических магниезиальных сухих строительных смесей».

Изучение ассортимента сухих строительных смесей на российском рынке показало, что в нашей стране отделочные смеси на магнезиальном вяжущем практически не производятся [5]. Единственным предприятием, которое занимается выпуском магнезиальных смесей для устройства полов, является «Альфапол» (г. Санкт-Петербург), не удовлетворяющий спрос всего строительного рынка ССС России.

Штукатурные магнезиальные составы должны быть легкими и создавать «дышащее» покрытие. Поэтому для производства сухих строительных смесей наиболее перспективными наполнителями являются вермикулит, тальк, микрокальцит, сырые магнезитовые и бруситовые породы и т.д. В работе [5] предлагаются примерные составы магнезиальных шпаклевок. При приготовлении смесей на основе магнезиального вяжущего необходимо придерживаться точных дозировок исходных компонентов. Например, незначительные отклонения в плотности затворителя могут существенно изменить качество получаемых материалов. При производстве ССС обезвоженную соль вводят непосредственно в смесь и на месте производства штукатурных работ нужно лишь точно отдозировать необходимое количество воды, это избавляет от необходимости приготовления раствора затворителя нужной плотности на строительной площадке и облегчает условия работы.

Штукатурные растворы для наружного раствора должны быть легкими, с высокой паропроницаемостью и адгезионной прочностью к бетонам и кирпичу. Кроме того, штукатурные растворы на магнезиальном вяжущем отличаются быстрым набором прочности, позволяющим ускорить сроки строительства. Экологичность и антибактерицидные свойства магнезиальных ССС позволяют применять их в детских и медицинских учреждениях, в жилых домах, поэтому разработка штукатурных смесей на основе магнезиального вяжущего является перспективным направлением исследования в области строительного материаловедения.

Для решения поставленных задач был проведен литературный и патентный обзор, в результате которого было установлено, что возможность производить ССС на основе магнезиального вяжущего есть, однако нет нормативно-технической документации, содержащей рекомендации по количественному содержанию тех или иных компонентов в составе смеси, как это описано для цементных и других пуццоланосодержащих смесях. Поэтому при проведении исследований будем использовать нормативную базу именно для цементных смесей.

Таким образом, целью работы является разработка составов магнезиальных сухих строительных смесей для наружной отделки зданий и исследование их свойств.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд следующих задач:

- 1) исследовать свойства исходных сырьевых материалов;

2) спланировать эксперимент исследований и разработать составы магнезиальных сухих строительных смесей для наружного применения;

3) изучить основные свойства разрабатываемых магнезиальных сухих строительных смесей;

4) определить оптимальный состав магнезиальной сухой строительной смеси для наружной отделки.

В качестве сырьевых материалов использовали:

1. Магнезиальное вяжущее ПМК-75 («Комбинат «Магнезит», г. Сатка) соответствующий ГОСТ 1216-87 [1] и разработанным на кафедре «Строительные материалы» ТУ 5745-004-70828456-2005 [8];

2. Затворитель – водный раствор хлорид магния  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ , соответствующий ГОСТ 7759-73 [9] и ТУ – 2152-005-53561075-03 [10].

3. Тонкомолотая добавка – железорудный агломерат, вводимый в количестве 0...20 % от массы вяжущего в виде тонкомолотого порошка (остаток на сите № 008 не более 15 %) производства ООО «Бакальские рудники».

Рентгенофазовый анализ показал, что основными минералами железорудного агломерата являются [6]:

$MgFe_2O_4$  – магнезиоферрит с  $d/n = 2,9699; 2,522; 2,0973; 1,707; 1,6110; 1,4754 \text{ \AA}$ ;

$FeCr_2O_4$  – хромит с  $d/n = 2,9699; 2,522; 2,0973; 1,707; 1,6110; 1,4754 \text{ \AA}$ ;

$CuFeMnO_4$  – купрумжелезооксид марганца с  $d/n = 2,9699; 2,522; 2,0973; 1,707; 1,6110; 1,4754 \text{ \AA}$ ;

$Fe_2O_3$  – гематит с  $d/n = 2,7887; 2,522; 2,1949; 2,0973; 1,835; 1,707; 1,6110; 1,4754; 1,4506 \text{ \AA}$ ;

$FeFe_2O_4$  – магнетит с  $d/n = 2,9699; 2,522; 2,0973; 1,707; 1,6110; 1,4754 \text{ \AA}$ ;

$Mn_2O_3$  – оксид марганца с  $d/n = 2,7887; 2,522; 2,1949; 1,835; 1,707; 1,4754; 1,4506 \text{ \AA}$ .

На кривой ДТА (рис. 1) нагревания железорудного агломерата фиксируется 4 тепловых эффекта: два необратимых экзотермических и два обратимых эндотермических [6, 7]:

Первый экзотермический эффект с максимумом при температуре  $432^\circ\text{C}$  связан с окислением магнетита с поверхности до  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Второй с максимумом при температуре в интервале  $600...1000^\circ\text{C} - 803^\circ\text{C}$  и  $875^\circ\text{C}$  – характеризует окисление остаточного магнетита и переход  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  в  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ .

Эндотермический эффект при температуре  $577^\circ\text{C}$  указывает на магнитное превращение остаточного магнетита, а максимум при температуре  $770^\circ\text{C}$  обусловлен магнитным превращением гематита, образовавшегося на первых стадиях окисления магнетита. Эндотермический эффект при температуре  $577^\circ\text{C}$  фиксирует точку Кюри, обусловленную превращением магнетита, которое сопровождается потерей магнитных свойств и переходом из ферромагнитного состояния в парамагнитное.

4. Заполнитель – вермикулит ЗАО «Уралграфит» (фракции  $\leq 1,25$ ), соответствующий требованиям ГОСТ 9757-90 [11] и ГОСТ 9758-86 [12],  $\rho_H = 6,5 \dots 7,5$ .

5. Затворитель – вода, для создания будущей плотности затворителя  $1,22 \text{ г/см}^3$ .

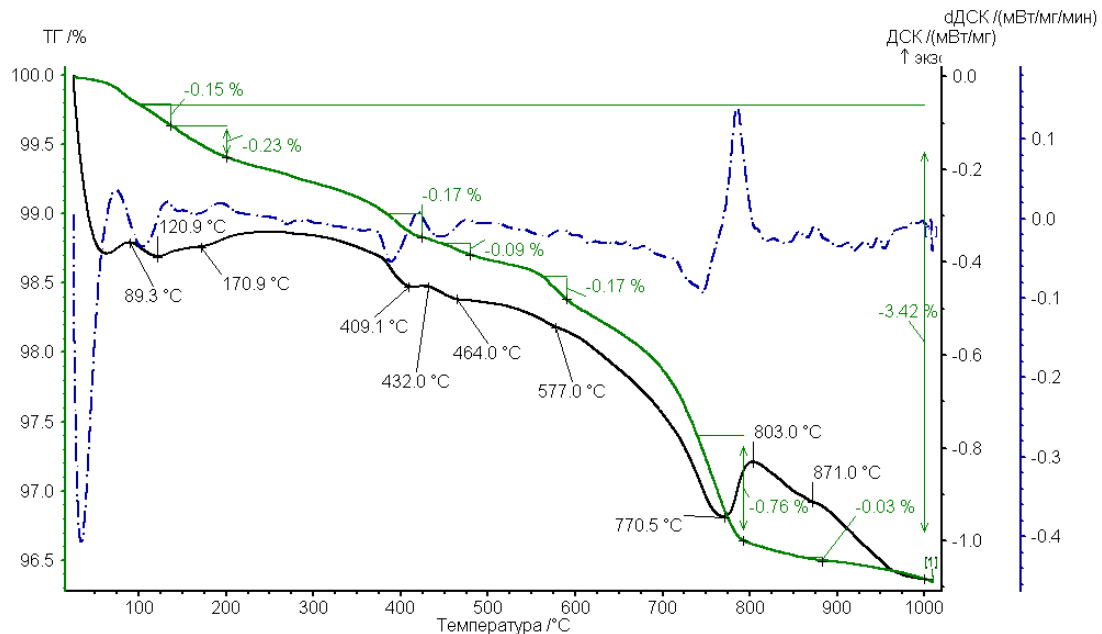


Рис. 1. ДТА состав железорудного агломерата

Для осуществления экспериментов необходимо провести расчет состава строительной смеси. Для чего спланируем и реализуем двухфакторный эксперимент, значимыми факторами (в кодовых значениях) в котором служат:

X – отношение MgO/вермикулит, равное 75/25, 50/50, 25/75;

У – количество добавки железорудного агломерата/шлака никелевого производства, которая варьировалась в пределах 0 %, 2,5 % и 5 %.

Откликами являются основные свойства строительного раствора.

Также необходимо определить минимальное количество образцов в серии N для получения достоверных результатов исследований путем расчета отклонений от точности измерений ( $\Delta X$ ) [13]:

средняя плотность	N = 6	$\Delta X = 2,2 \dots 2,3 \%$ ;
прочность в разном возрасте	N = 6	$\Delta X = 3,5 \dots 4,8 \%$ ;
прочность при адгезии	N = 6	$\Delta X = 3,0 \dots 3,8 \%$ ;
морозостойкость	N = 36	$\Delta X = 2,5 \dots 3,7 \%$ ;
усадки при высыхании	N = 12	$\Delta X = 0,01 \dots 0,015 \%$ ;
теплопроводность	N = 6	$\Delta X = 0,1 \dots 0,15 \%$ ;
паропроницаемость	N = 6	$\Delta X = 0,1 \dots 0,25 \%$ ;
сорбционная влажность	N = 6	$\Delta X = 0,01 \dots 0,02 \%$ ;
водостойкость	N = 6	$\Delta X = 0,1 \dots 0,15 \%$ ;
водопоглощение по массе	N = 6	$\Delta X = 0,1 \dots 0,2 \%$ ;

водопоглощение по капил. подосу	N = 6	$\Delta X = 0,1 \dots 0,2 \%$ ;
открытая пористость	N = 6	$\Delta X = 4,4 \dots 4,6 \%$ ;
общая пористость	N = 6	$\Delta X = 4,6 \dots 4,9 \%$ ;
закрытая пористость	N = 6	$\Delta X = 4,6 \dots 4,7 \%$ .

Для исследований свойств магнезиальных сухих строительных смесей готовили гарцовку из смеси вяжущего, заполнителя и добавок. Тщательно перемешав эти компоненты, гарцовку затворяли заранее подготовленным водным раствором хлорида магния. Готовую смесь укладывали в формы с размерами, установленными нормативно-технической документацией на конкретные испытания. Условия твердения строительного раствора: температура  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  и относительная влажность воздуха  $65 \pm 5 \%$ .

Результаты определения свойств строительного раствора сведены в табл. 1, 2.

На основе полученных данных с помощью компьютерной обработки результатов построили математические формулы, а также рассчитали критерий Фишера. Результаты обобщены в табл. 3.

Изучая физико-механические свойства магнезиального штукатурного раствора, установили, что его прочность при сжатии и изгибе прямо пропорционально зависит от количества введенного в состав смеси заполнителя. Так при содержании вермикулита в количестве 25 % прочность при сжатии достигает М 20, марка по прочности при изгибе Вт 5,2, адгезионная прочность в 28 сутки составляет 1,1...1,5 МПа, средняя плотность магнезиальной штукатурки находится в пределах 1300...1400 г/см<sup>3</sup>. Также на прочностные характеристики раствора существенное влияние оказывает добавка железорудного агломерата, вводимая в количестве 2,5 и 5 %. При этом 5 % добавки в составе вяжущего позволяют достичь наивысших прочностей. Дальнейшее повышение содержания заполнителя в составе штукатурного раствора приводит к снижению показателей физико-механических характеристик.

Таблица 1

Физико-механические свойства штукатурного раствора

Кол-во MgO/вермикулит, %		Кол-во добавки, %		Прочность при сжатии, МПа, сутки						M <sub>R</sub>	Плотность раствора, кг/м <sup>3</sup> , сутки		A <sub>7</sub>	A <sub>28</sub>	F	Усадки, мм/м
				1		14		28			7	28				
X	%	У	%	R <sub>сж</sub>	R <sub>изг</sub>	R <sub>сж</sub>	R <sub>изг</sub>	R <sub>сж</sub>	R <sub>изг</sub>							
-1	75/25	-1	0	10,1	1,3	16,0	1,46	19,8	8,7	10	1390	1425	0,86	1,1	50	-0,40
-1	75/25	0	2,5	9,7	1,1	18,4	1,41	21,0	8,3	10	1450	1416	0,93	1,3	50	-0,35
-1	75/25	1	5	10,2	1,0	19,3	1,40	24,0	8,1	10	1415	1347	1,00	1,5	50	-0,38
0	50/50	1	5	4,5	0,8	7,9	0,93	9,5	10,8	4	1189	1166	1,49	1,6	35	-0,35
1	25/75	1	5	1,0	0,3	1,9	0,4	2,4	2,6	-	1054	1023	0,38	0,51	25	-0,20
1	25/75	0	2,5	1,7	0,3	2,4	0,49	3,0	3,1	-	1060	1000	0,45	0,56	25	-0,22
1	25/75	-1	0	1,9	0,3	2,4	0,40	3,2	3,2	-	1070	980	0,68	0,7	25	-0,25
0	50/50	-1	0	4,2	0,4	5,3	0,93	6,6	5,4	4	1210	1199	1,30	1,5	30	-0,30
0	50/50	0	2,5	3,5	0,6	5,6	0,78	6,9	4,8	4	1195	1185	1,23	1,56	30	-0,33

Таблица 2

Физические и теплофизические свойства раствора

Физические свойства									Теплофизические свойства	
Кол-во MgO/вермикулит, %		Кол-во агломерата, %		Гигроскопичность, %	Водостойкость	Водопоглощение, % по массе	Открытая пористость, %	Водопоглощение по кап. подосу, кг/(м <sup>2</sup> ·ч <sup>0,5</sup> )	λ, Вт/(м·С)	μ, г/(м·ч·Па)
X	%	У	%							
-1	75/25	-1	0	11,3	0,67	8,3	11,8	0,47	0,3109	0,233
-1	75/25	0	2,5	9,6	0,69	10,1	14,3	0,37	0,2215	0,124
-1	75/25	1	5	9,3	0,67	13,6	18,3	0,37	0,2868	0,227
0	50/50	1	5	15,4	0,53	27,9	32,5	1,17	0,3173	0,255
1	25/75	1	5	31,2	0,50	40,2	41,1	1,33	0,2844	0,418
1	25/75	0	2,5	35,1	0,50	42,5	45,5	1,33	0,2945	0,485
1	25/75	-1	0	38,5	0,49	44,1	47,2	1,56	0,3122	0,284
0	50/50	-1	0	19,6	0,50	34,1	40,9	1,55	0,4324	0,334
0	50/50	0	2,5	16,5	0,52	30,2	35,8	1,34	0,3521	0,383

Таблица 3

Математическая интерпретация результатов исследований свойств ССС

Свойства	Математическая формула	Критерий Фишера
прочность при сжатии в 28 сутки, МПа	$M(x,y)=7,7-9,37x+1,05y+4,3x^2+0,35y^2-1,25xy$	0,67
плотность раствора в 28 суток, г/см <sup>3</sup>	$M(x,y)=1196,75-197,5x-11,33y+11,25x^2-14,25056y^2+30,25xy$	0,18
прочность при изгибе в 28 сутки, МПа	$M(x,y)=8,1175-2,7x+0,71y-2,42x^2-0,0375y^2-0,0125xy$	0,38
адгезионная прочность в 28 сутки, МПа	$M(x,y)=1,5275-0,355x+0,052y-0,6x^2+0,0225y^2-0,1475xy$	0,17
морозостойкость, циклов	$M(x,y) = 31,11-12,5x+0,083y+5,83x^2+0,83y^2+0xy$	1,27
усадки, мм/м	$M(x,y) = -0,23+0,0117x+0,04y-0,04x^2-0,078y^2-0,025xy$	1,55
гигроскопичность, %	$M(x,y)=16,775+12,77x-0,25y+5,58x^2+0,735y^2+1,675xy$	1,07
водостойкость	$M(x,y)=0,5275-0,09x+0,0067y+0,0675x^2-0,0125y^2+0,0025xy$	0,045
открытая пористость, %	$M(x,y)=36,5+13,73x-0,67y-8,1x^2+0,2y^2-2,15xy$	0,22
водопоглощение при капиллярном подсосе, кг/(м <sup>2</sup> ·ч <sup>0,5</sup> )	$M(x,y)=1,279+0,504x-0,1183y-0,432x^2+0,0845y^2-0,0325xy$	0,14
паропроницаемость, г/(м·ч·Па)	$M(xy) = 0,31 + 0,1x + 0,00975y - 0,00675x^2 - 0,0165y^2 + 0,033xy$	0,9
теплопроводность, Вт/(м·С)	$M(x,y)=0,334275+0,012x-0,027833y-0,0763x^2+0,040575y^2-0,000925xy$	1,65

Изучая морозостойкость магнезиальной штукатурки для наружного применения, установили, что раствор, выдерживающий наименьшее количество циклов попеременного замораживания и оттаивания, содержит в своем составе 75 % заполнителя, и его морозостойкость составила 25 циклов. Раствор, содержащий 50 % вермикулита в качестве заполнителя, имеет марку по морозостойкости F 35, а количество циклов у раствора с 25 % вермикулита достигает 70, что соответствует марке F 50.

Увеличение количества вермикулита от 25 до 75 % приводит к снижению деформаций усадок до  $-0,25$  мм/м, при этом добавка железорудного агломерата составляет 5 %.

Учитывая то, что вермикулит является пористым материалом с преобладанием открытых пор, то увеличение доли его содержания в составе магнезиального раствора приводит к повышению его открытой пористости с 11 до 47 %. Добавка оказывает влияние только при повышенном содержании заполнителя. И наивысший коэффициент размягчения имеет раствор, содержащий в своем составе 25 % вермикулита и 5 % добавки.

Изучая гигроскопичность штукатурного раствора, содержащего 25 %, вермикулита, установили, что способность его адсорбировать на своей поверхности пор и внутри них влагу колеблется в пределах 11 %. При этом добавка позволила снизить данный показатель более чем на 20 %.

Водопоглощение при капиллярном подсосе при введении в состав раствора 25 % вермикулита и 5 % добавки позволяет достигнуть значения, ниже  $0,4$  кг/(м<sup>2</sup>·ч<sup>0,5</sup>).

Разработанный материал удовлетворяет требованиям по теплоизоляционной эффективности, имеющий теплопроводность не более  $0,3$  Вт/(м·°С) при содержании вермикулита 25 % и добавки 5–10 %.

Результаты паропроницаемости магнезиальной штукатурки показывают, что такой раствор за счет мономолекулярных сил способен адсорбировать влагу на поверхности пор и устанавливать тем самым равновесную влажность с обеих сторон материала. Такой раствор препятствует образованию конденсата внутри стены, и не пропускает холод и другие неблагоприятные факторы вовнутрь помещения.

Проведя исследования свойств магнезиальной штукатурки, установили, что оптимальное соотношение заполнителя к вяжущему составляет 75/25 или 3/1 при введении в состав магнезиального вяжущего тонкомолотой железосодержащей добавки в виде железорудного агломерата в количестве 5-10% при плотности затворителя  $1,22$  г/см<sup>3</sup>.

Такой раствор обладает следующими свойствами: класс по прочности в 7 суток В 10, В<sub>т</sub> 0,8, R<sub>сш</sub> составляет 0,9...1 МПа, F 35, деформации усадок не более  $-0,30$  мм/м; водопоглощение по капиллярному подсосу равно  $0,37$  кг/м<sup>2</sup>·ч<sup>0,5</sup>, гигроскопичность не более 10%, водостойкость не менее 0,67, коэффициент теплопроводности не более  $0,29$  Вт/(м·°С), коэффициент паропроницаемости не более  $0,23$  г/м·ч·Па.

### Библиографический список

1. Ваганов, А. П. Ксилолит. Производство и применение / А.П. Ваганов. – М.: Госиздат, 1959. – 144 с.
2. Практическое руководство. Штукатурка. Материалы, техника производства работ, предотвращение дефектов / Хельмут Росс и Фридман Шталь. Пер. с нем. – СПб.: РИА «Квинтет», 2006. – 274 с.
3. Цементы, бетоны, строительные растворы и смеси. Часть 2: Справочник / Ю.А. Беленцов, В.Н. Вернигорова, В.С. Демьянова и др.; под ред. П.Г. Комахова. – СПб.: НПО «Профессионал», 2009. – 612 с.
4. Сухие строительные смеси. Бетоны. Материалы и технологии (Серия «Строитель»): Справочник. – М.: Стройинформ, 2007. – 828 с.
5. Цементы, бетоны, строительные растворы и смеси. Часть 2: Справочник / Ю.А. Беленцов, В.Н. Вернигорова, В.С. Демьянова и др.; под ред. П.Г. Комахова. – СПб.: НПО «Профессионал», 2009. – 612 с.
6. Горшков, В.С. Термография строительных материалов. / В.С. Горшков. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1968. – 238 с.
7. Егоров-Тисменко, Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия / Ю.К. Егоров-Тисменко, В.С. Урусов. – М.: КДУ, 2005. – 592 с.
8. ТУ 5745-004-70828456-2005. Магнезиальное вяжущее. – Челябинск, 2006. – 6 с.
9. ГОСТ 7759-73. Магний хлористый технический (бишофит). Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 7 с.
10. ТУ 2152-005-53561075-03. Магний хлористый. Раствор природного бишофита. – Волгоград, 2004. – 4 с.
11. ГОСТ 9757-90. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 8 с.
12. ГОСТ 9758-86. Заполнители пористый неорганические для строительных работ. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2006. – 43 с.
13. Зедгинидзе, И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.

[К содержанию](#)