

05.23.05

Н88

На правах рукописи

Нуждин Сергей Владимирович

**КОМПЛЕКСНО МОДИФИЦИРОВАННОЕ МАГНЕЗИАЛЬНОЕ  
ВЯЖУЩЕЕ И БЕТОНЫ НА ЕГО ОСНОВЕ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск – 2006

Работа выполнена на кафедре «Строительные материалы» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент  
**Крамар Людмила Яковлевна**

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
**Чернов Алексей Николаевич**

кандидат технических наук  
**Вахтомин Владимир Леонидович**

Ведущая организация – ООО «УралНИИИстром», г. Челябинск


Защита состоится « 21 » декабря 2006 года в 14:00 на заседании диссертационного совета ДМ 212.298.08 при ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.Л. Ленина, 76, Южно-Уральский государственный университет, главный корпус, ауд. 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан « 20 » ноября 2006 года.

Отзыв на автореферат (2 экз.), заверенный печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, проспект им. В.И. Ленина, 76, диссертационный совет ДМ 212.298.08, ЮУрГУ.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., проф., советник РААСН



Б.Я. Трофимов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В современном строительстве существует потребность в материалах с повышенными эксплуатационными характеристиками и специальными свойствами, присутствие которых на рынке ограничено. Создававшийся в настоящее время дефицит вяжущих требует расширения их номенклатуры, а также активного использования побочных продуктов промышленных производств. При этом обеспечивается экономия природных ресурсов, снижение энергозатрат на производство и отрицательных воздействий на человека и окружающую среду. Одним из материалов, позволяющих получать строительные изделия с особыми свойствами, является магнезиальное вяжущее.

Известно, что изделия на магнезиальных вяжущих обладают быстрым набором прочности при сжатии (через 1 сутки воздушного твердения прочность достигает 35 МПа, а к 7 суткам – более 90 % от конечной), высокой конечной прочностью (обычно не менее 50 МПа), низкой истираемостью, отсутствием искрения, экологической безопасностью, биостойкостью, декоративными качествами, что должно обеспечить широкое применение для устройства полов и разного рода отделочных и декоративных работ.

В России магнезиальное вяжущее для строительства не производят, оно представлено порошком магнезитовым каустическим ПМК-75, поставляемым ОАО «Комбинат Магнезит» г. Сатка (Челябинская область). Это побочный продукт огнеупорной промышленности – пыль с электрофильтров печей обжига магнезита в периклаз. Изделия на основе данного продукта отличаются пониженной водостойкостью и в ряде случаев характеризуются склонностью к растрескиванию при эксплуатации, что является основными факторами, ограничивающими использование каустического магнезита в строительстве.

Разработка на основе ПМК-75 водостойких, не склонных к растрескиванию изделий позволит снизить дефицит вяжущих в регионе, расширить их сырьевую базу, ассортимент изделий и область использования.

Представленная тематика исследований была поддержана Правительством Челябинской области в рамках «Конкурса исследовательских проектов 2005 года».

**Целью диссертационной работы** является разработка водостойкого, не склонного к растрескиванию при твердении магнезиального вяжущего на основе побочного продукта ОАО «Комбинат Магнезит» ПМК-75.

Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи:**

1. Выявить причины низкой водостойкости магнезиального камня.
2. Разработать способ модифицирования магнезиального вяжущего с целью повышения водостойкости.
3. Исследовать влияние модификаторов на фазовый состав и структуру магнезиального камня и определить их взаимосвязь с водостойкостью.

4. Изучить причины растрескивания изделий на основе применяемого магнезиального вяжущего.

5. Установить влияние модифицирования затворителя для ПМК-75 на склонность вяжущего к растрескиванию и оценить взаимосвязь между формирующейся структурой искусственного камня и его стабильностью.

6. Исследовать свойства бетонов на основе полученного водостойкого и не склонного к растрескиванию магнезиального вяжущего.

#### **Научная новизна работы:**

1. Предложен комплексный подход к вопросу модифицирования как каустического магнезита марки ПМК-75, так и затворителя – водного раствора хлорида магния, обеспечивающий создание водостойкой, стабильной структуры магнезиального камня с демпфирующим компонентом.

2. Сформулирован принцип получения водостойкого магнезиального камня, заключающийся в модифицировании магнезиального вяжущего комплексом тонкодисперсных минеральных добавок и использовании затворителя с плотностью  $1,24 \text{ г/см}^3$ , с целью формирования структуры из оксигидрохлоридов и гидросиликатов магния.

3. Разработан способ активации пережога оксида магния в магнезиальном вяжущем введением в затворитель хлоридов с активными катионами  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ , основанный на ускорении гидратации пережога в ранние сроки твердения и создании слабозакристаллизованного структурного компонента магнезиального камня стойкого к растрескиванию.

4. Установлен характер фазовых превращений и особенности структурообразования при твердении композиции на основе модифицированного магнезиального вяжущего; показано, что в течение первых 7 суток добавки хлоридов натрия и калия ускоряют гидратацию пережога  $\text{MgO}$  и сдерживает кристаллизацию гидратных фаз, при этом снижается содержание  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , повышающего гигроскопичность, деформации и склонность к растрескиванию магнезиального камня.

5. На модифицированном магнезиальном вяжущем определена технология тяжелых бетонов разного назначения с повышенной прочностью, водостойкостью и низкой истираемостью.

**Практическая значимость работы** заключается в обосновании способов модифицирования как каустического магнезита, так и применяемого затворителя.

Показано, что из побочного продукта производства магнезиальных огнеупоров путем модифицирования можно получать водостойкий, не склонный к растрескиванию искусственный камень.

Получен патент № 2238251 «Композиция на основе магнезиального вяжущего» и положительное решение по заявке № 2005123934/03 (02694) «Композиция на основе магнезиального вяжущего».

Составлены технические условия на разработанное модифицированное магнезиальное вяжущее.

Получены бетоны на модифицированном магниальном вяжущем, отличающиеся высокими технологическими и физико-механическими свойствами.

**Автор защищает:**

1. Способ модифицирования магниального вяжущего комплексом тонкодисперсных минеральных добавок, что обеспечивает получение водостойкого магниального камня.

2. Композицию на основе водостойкого магниального вяжущего и модифицированного комплексом хлоридных добавок-активаторов затворителя, позволяющую получать водостойкий, не склонный к растрескиванию магниальный камень.

3. Установленные закономерности физико-химических процессов твердения, структурообразования и формирования свойств модифицированного магниального вяжущего.

4. Магниальные бетоны с повышенными эксплуатационными характеристиками на основе модифицированного комплекса «магниальное вяжущее – затворитель».

**Достоверность** научных выводов и результатов обеспечена использованием стандартных методов и поверенного оборудования при испытании материалов, количеством и точностью повторных испытаний, обеспечивающих достоверную вероятность 0,95 при погрешности не более 10 %, методов математического планирования исследований и статистической обработки экспериментальных данных. Структурные исследования проведены с применением комплекса физико-химических методов анализа: дифференциально-термического, рентгенофазового, а также электронной растровой микроскопией.

**Внедрение результатов.**

По разработанной технологии бетона на модифицированном магниальном вяжущем выполнено бетонирование 200 м<sup>2</sup> промышленного декоративного пола «Магбет» выставочно-торгового комплекса в г. Снегири Московской области, а также осуществлен комплекс отделочных работ в ОДЦ «Робинзон» УСК ЮУрГУ в г. Челябинске на площади 300 м<sup>2</sup>.

**Апробация работы.**

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на ежегодных научно-технических конференциях студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава ЮУрГУ с 2002 по 2006 г.г., на международных конференциях в г. Пенза в 2003 г., Новосибирске в 2002 – 2004 г.г., Ростов-на-Дону в 2005 г., Белгороде в 2005 г., Уфе в 2006 г., Екатеринбурге в 2006 г.

**Публикации:** по теме диссертации опубликованы 10 печатных работ и 2 патента.

**Структура и объем работы:** диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и приложений; содержит 144 страницы машинописного текста, 15 таблиц, 42 рисунка, списка использованной литературы из 103 наименований.

Работа выполнена на кафедре «Строительные материалы» Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск).

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** содержит обоснование актуальности работы, ее цель и задачи исследований, изложение научной новизны и практической значимости.

**В первой главе** («Состояние вопроса») приведены сведения о составе и свойствах магнезиального вяжущего, выпускаемого ОАО «Комбинат Магнезит» (г. Сатка), основы его получения, соответствие нормативным требованиям и области применения. Проведен критический анализ используемых затворителей с целью определения оптимального варианта для получения бетонов с высокими эксплуатационными характеристиками. Изложены теоретические представления о процессе твердения композиций на основе магнезиального вяжущего, фазовом составе и особенностях формирующейся структуры. Особое внимание уделено возможности модифицирования магнезиальных вяжущих.

Вопросами получения магнезиальных вяжущих, исследованием их свойств и механизмов гидратации в свое время занимались многие советские, российские и зарубежные ученые (А.А. Байков, П.И. Боженов, А.Я. Вайвад, И.П. Выродов, А.С. Каминская, И.С. Килессо, Б. Маткович, О.П. Мчедлов-Петросян, В.С. Рамачандран, Т. Танака, В.В. Шелягин, Л.Б. Хорошавин и другие). Поиски новых путей улучшения свойств магнезиального вяжущего ведутся до сих пор.

Большинство исследовательских работ, посвященных магнезиальному вяжущему и материалам на его основе, направлено на решение проблем низкой водостойкости и склонности к растрескиванию. Основными способами ликвидации недостатков магнезиального вяжущего, по их мнению, являются разработка определенных режимов производства данного вяжущего с целью получения стабильного, предсказуемого продукта, а также его модифицирование различными добавками. Имеющиеся теоретические и практические сведения позволяют говорить о необходимости более глубокого комплексного подхода к вопросам использования и модифицирования магнезиального вяжущего.

Анализ литературных источников показал, что при получении магнезиального вяжущего из природных магнезитов Саткинского месторождения в результате нагревания вначале формируется высокоактивный, слабозакристаллизованный  $MgO$ . При дальнейшем повышении температуры и времени обжига он кристаллизуется, образуя низкоактивный периклаз (пережог), присутствие которого в вяжущем нежелательно.

Показано, что каустический магнезит ПМК-75, выпускаемый в настоящее время ОАО «Комбинат Магнезит», является побочным продуктом огнеупорного производства – пылью с электрофильтров печей обжига магнезита на периклаз. Данный продукт не отличается высокой

стабильностью свойств и качеством. Высокое содержание в ПМК-75  $MgO$  – выше 80 % – не всегда является характеристикой качества вяжущего строительного назначения, так как оно может содержать и очень активную магнезию и пережог, что может вызвать при твердении неравномерность изменения объема магнезиального камня и его разрушение.

Анализ нормативных требований, предъявляемых к каустическому магнезиту, показал, что в действующем ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезитовые каустические. Технические условия» недостает требований, определяющих свойства каустического магнезита, как минерального вяжущего вещества строительного назначения. В качестве основных характеристик необходимо, по нашему мнению, добавить показатель равномерности изменения объема, который даст сведения о склонности вяжущего к растрескиванию, а также коэффициент размягчения, характеризующий водостойкость.

Определено, что в качестве затворителя магнезиального вяжущего для получения магнезиального камня с высокими эксплуатационными характеристиками наиболее целесообразно применение водного раствора хлорида магния (бишофита).

При твердении композиций на основе магнезиальных вяжущих формируется магнезиальный камень различного фазового состава и структуры, что обусловлено применением затворителя разной плотности. При низких плотностях затворителя (до  $1,20 \text{ г/см}^3$ ) структура магнезиального камня представлена преимущественно гидроксидом магния ( $Mg(OH)_2$ ) и пентаоксигидрохлоридом магния ( $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ ), а при повышенных плотностях (более  $1,20 \text{ г/см}^3$ ) основными продуктами гидратации являются пентаоксигидрохлорид и триоксигидрохлорид магния ( $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$ ). С позиции стабильности фазового состава формирующегося магнезиального камня, преобладание в структуре оксигидрохлоридов магния является предпочтительным.

Проанализировав существующие пути повышения водостойкости изделий на магнезиальном вяжущем, пришли к выводу, что наиболее перспективным с точки зрения эффективности и экономической целесообразности является его модифицирование различными тонкодисперсными минеральными добавками.

Наиболее эффективным приложением свойств, присущих изделиям на основе магнезиального вяжущего, является изготовление на его основе бетонных полов. К достоинствам таких полов относят высокую прочность, низкую истираемость, отсутствие искрения, биостойкость и экологичность.

**Во второй главе** («Материалы и методы исследования магнезиального вяжущего и бетонов») представлены характеристики применяемых материалов, описаны методы исследования свойств и структуры получаемых материалов.

При выполнении исследований использовались следующие материалы:

– магнезиальное вяжущее – каустический магнезит ПМК-75 по ГОСТ 1216-87, полученный при пылеулавливании на 2-ом поле электрофильтра

аспирационной системы печи №1 ЦМП-3 ОАО «Комбинат Магнезит» г. Сатка. Содержание MgO – 80 %.

– Затворитель – водный раствор хлорида магния – бишофит ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), отвечающий требованиям ГОСТ 7759-73.

– Активная минеральная добавка – микрокремнезем конденсированный МК-85 по ТУ 5743-048-02495332-96, являющийся побочным продуктом производства ферросилиция на Челябинском электрометаллургическом комбинате. Плотность микрокремнезема –  $2,24 \text{ г/см}^3$ , насыпная плотность –  $0,2-0,3 \text{ г/см}^3$ . Количество  $SiO_2 = 87,6...92,3 \%$ .

– Добавка-крент – природный гидросиликат магния ( $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) – тальк молотый по ТУ 5727-003-0281973-96 производства ООО «Уралтальк» (г. Миасс). Плотность вещества  $2,5...2,7 \text{ г/см}^3$ . Тонкость помола – проход через сетку №009 – 87 %.

– Добавка-активатор – хлорид натрия ( $NaCl$ ) по ТУ 2152-067-00209527-98 ОАО «Сильвинит» (г. Соликамск).

– Добавка-активатор – хлорид калия ( $KCl$ ) по ГОСТ 4568-95 ОАО «Сильвинит» (г. Соликамск);

– Крупный заполнитель – щебень Новосмолинского карьера (Челябинская область) фракции  $3...10 \text{ мм}$ .

– Мелкий заполнитель – песок месторождения «Хлебороб» (Челябинская область).

Исследование свойств магнезиального вяжущего и получаемого магнезиального камня проводилось с использованием методов испытаний по ГОСТ 310-76, ГОСТ 5802-86, ГОСТ 10180-90, ГОСТ 12730-84, ГОСТ 24544-81. Водостойкость магнезиального камня определяли по коэффициенту размягчения, полученного по результатам испытания сухих образцов и предварительно помещенных в воду на 4 суток. Склонность вяжущего к растрескиванию оценивали по аналогии с методом определения неравномерности изменения объема портландцемента по ГОСТ 310-76, только вместо кипячения образцы выдерживали в воде 7 суток.

Для исследования структуры магнезиального камня применяли дериватографический, рентгенофазовый анализы, электронную микроскопию и другие методы. С целью создания математических моделей исследуемых процессов и их статистического анализа, использовали математическое планирование эксперимента. Адекватность полученных математических моделей оценивали с помощью критерия Фишера ( $F_{\text{расч}}$  должен быть не выше  $F_{\text{табл}}$ ).

**В третьей главе** («Повышение водостойкости магнезиального камня») проведено исследование влияния добавок-модификаторов магнезиального вяжущего и плотности затворителя на водостойкость и другие основные свойства формирующегося магнезиального камня. Осуществлен выбор оптимального решения с позиции повышения водостойкости.

В работе была высказана гипотеза о повышении водостойкости вследствие направленного перевода части неводостойких гидратных фаз в структуре магнезиального камня в гидросиликаты магния путем введения



комплекса из активной минеральной добавки и добавки крента. Предложено использование высокоактивного микрокремнезема и талька. При этом предполагалось, что добавка микрокремнезема способствует образованию гидросиликатов магнезия, а тальк играет роль подложки для целенаправленного формирования водостойких гидратных фаз.

Для реализации поставленной задачи был спланирован и проведен трехфакторный эксперимент, в качестве основных факторов которого были приняты:

$X_1$  – количество активной минеральной добавки – микрокремнезема, изменяющееся от 0 до 15 % от массы каустического магнезита ПМК-75;

$X_2$  – количество добавки-крента – талька, изменяющееся от 0 до 10 % от массы каустического магнезита ПМК-75;

$X_3$  – плотность раствора затворителя (водного раствора хлорида магнезия), изменяющаяся от 1,16 до 1,24 г/см<sup>3</sup>.

Интервалы варьирования факторов выбирали с учетом анализа литературных данных и ранее проведенных исследований по определению границ целесообразного применения представленных добавок и концентрации затворителя. Откликами назначили прочность при сжатии в 1, 3, 7, 14 и 28 суток твердения, коэффициент размягчения, водопоглощение и относительные линейные деформации.

Закономерности изменения характеристик (прочности при сжатии, коэффициента размягчения, водопоглощения, относительных линейных деформаций – формулы 1...5) магнезимального камня, получаемого при разных сочетаниях рассматриваемых факторов, показывают, что с увеличением плотности затворителя с 1,16 до 1,24 г/см<sup>3</sup> повышаются прочность при сжатии в 1 и 28 суток ( $R_{сж}^{1сутки}$ ,  $R_{сж}^{28сутки}$ ), коэффициент размягчения ( $K_{разм}$ ), отмечено снижение величин водопоглощения ( $W_m$ ) и относительной линейной усадки ( $L^{28сутки}$ ). Используя дериватографический и рентгенофазовый методы анализа, установили, что в зависимости от плотности затворителя качественный и количественный состав образующихся при твердении фаз различен (табл. 1).

$$R_{сж}^{1сутки} = 24,9 - 3,6x_1 - 5,5x_2 + 5,1x_3 - 1,6x_1^2 - 1,4x_2^2 + 0,3x_3^2; F_{расч} 0,54 < F_{табл} 3,3; \quad (1)$$

$$R_{сж}^{28сутки} = 71,5 - 5,2x_1 - 8,1x_2 + 12,1x_3 - 2,5x_1^2 + 0,5x_1x_2 - 0,5x_1x_3 - 0,9x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 0,1x_3^2; F_{расч} 2,45 < F_{табл} 3,3; \quad (2)$$

$$K_{разм} = 0,78 + 0,04x_1 + 0,05x_2 + 0,02x_3 - 0,06x_1^2 - 0,08x_2^2; F_{расч} 0,40 < F_{табл} 3,3; \quad (3)$$

$$W_m = 7,69 - 1,21x_1 - 0,7x_2 - 3,26x_3 + 0,4x_1^2 + 0,46x_1x_3 + 0,35x_2^2 + 0,16x_2x_3 + 1,75x_3^2; F_{расч} 1,67 < F_{табл} 3,3; \quad (4)$$

$$L^{28сутки} = 0,67 - 0,05x_1 - 0,02x_2 - 0,08x_3 + 0,02x_1x_2 - 0,01x_2^2 - 0,02x_1x_3 - 0,01x_2x_3 - 0,02x_3^2; F_{расч} 0,01 < F_{табл} = 3,3. \quad (5)$$

Содержание гидратных фаз в структуре твердеющего магнезиального камня

Фаза	Плотность затворителя, г/см <sup>3</sup>	Содержание гидратных фаз в магнезиальном камне, %, по массе			
		Срок твердения, сутки			
		1	3	7	28
Гидроксид магния Mg(OH) <sub>2</sub>	1,16	20	28	36	41
	1,20	17	17	17	21
	1,24	8	10	13	14
Пентаоксигидрохлорид магния 5MgO·MgCl <sub>2</sub> ·13H <sub>2</sub> O	1,16	26	32	34	36
	1,20	30	34	36	38
	1,24	34	38	40	46
Триоксигидрохлорид магния 3MgO·MgCl <sub>2</sub> ·11H <sub>2</sub> O	1,16	-	-	-	-
	1,20	12	18	22	22
	1,24	24	26	28	28

При плотности затворителя 1,16 г/см<sup>3</sup> магнезиальный камень состоит преимущественно из Mg(OH)<sub>2</sub> и 5MgO·MgCl<sub>2</sub>·13H<sub>2</sub>O, причем количество Mg(OH)<sub>2</sub> на всем протяжении исследования увеличивается и превышает содержание пентаоксигидрохлорида магния, при этом триоксигидрохлорид магния (3MgO·MgCl<sub>2</sub>·11H<sub>2</sub>O) отсутствует. Данные электронной растровой микроскопии также указывают на то, что структура представлена в основном Mg(OH)<sub>2</sub>, имеющиеся в структуре пустоты прорастают пентаоксигидрохлоридом магния. При плотности затворителя 1,24 г/см<sup>3</sup> фазовый состав магнезиального камня представлен в основном 5MgO·MgCl<sub>2</sub>·13H<sub>2</sub>O и 3MgO·MgCl<sub>2</sub>·11H<sub>2</sub>O, а содержание Mg(OH)<sub>2</sub> незначительно. Электронная микроскопия показала, что с увеличением плотности затворителя происходит уплотнение структуры, она становится тонкодисперсной, все полости замкнутые и прорастают изнутри волокнистыми образованиями – оксигидрохлоридами магния, при этом присутствие гидроксида магния не обнаружено.

Введение в магнезиальное вяжущее добавок микрокремнезема и талька по-отдельности и совместно приводит к увеличению коэффициента размягчения ( $K_{разм}$ ), некоторому снижению прочности при сжатии в 1 и 28 сутки ( $R_{сж}^{1сутки}$ ,  $R_{сж}^{28сутки}$ ), водопоглощения ( $W_m$ ) и относительных линейных деформаций усадки ( $L^{28сутки}$ ). Показано, что введение каждой из добавок способствует незначительному повышению коэффициента размягчения с 0,55 до 0,70 (рис. 1) и только при совместном введении представленных модификаторов при плотности затворителя равной 1,24 г/см<sup>3</sup> существует возможность получения водостойкого магнезиального камня ( $K_{разм} > 0,8$ ).

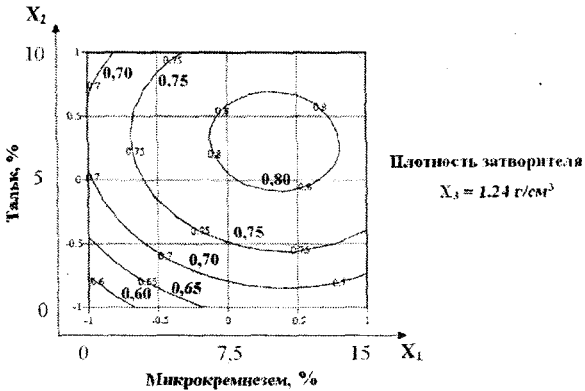
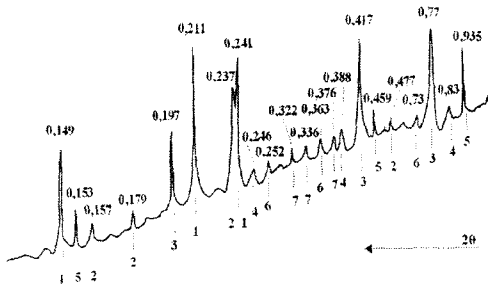


Рис. 1 Коэффициент размягчения модифицированного магнезиального камня при разной плотности затворителя

Это стало возможным вследствие создания структуры с ограниченным содержанием неводостойкого гидроксида магния и направленного формирования гидросиликатов магния в виде сепиолита, антигорита и талька (рис. 2).

При этом, как показывает электронная микроскопия (рис. 3), сформированная структура отличается высокой плотностью и монолитностью.

Для получения водостойкого магнезиального камня оптимальным количественным соотношением модифицирующих добавок является следующее – микрокремнезем от 7 до 12 % и тальк от 4 до 8 %. При этом рекомендуется применение затворителя – водного раствора хлорида магния – с плотностью  $1,24 \text{ г/см}^3$ .



- 1 – оксид магния  $\text{MgO}$  с  $d_n = 0,149$  (10), 0,211 (10), 0,241 (3) нм.
- 2 – гидроксид магния –  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  с  $d_n = 0,237$  (10), 0,477 (9), 0,179 (6), 0,157 (6) нм.
- 3 – гидроксид хлороксида магния –  $5\text{Mg} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$  с  $d_n = 0,77$  (10), 0,417 (9), 0,197 (3) нм.
- 4 – триоксидхлороксида магния –  $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$  с  $d_n = 0,83$  (10), 0,388 (9), 0,271 (6) нм.
- 5 – тальк –  $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  с  $d_n = 0,935$  (10), 0,153 (6), 0,459 (5) нм.
- 6 – антитригидрат –  $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  с  $d_n = 0,73$  (10), 0,363 (10), 0,252 (7) нм.
- 7 – солигидрат –  $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  с  $d_n = 0,336$  (10), 0,322 (10), 0,376 (6) нм.

Рис. 2 Рентгенограмма магниезального камня (Микрокремнезем = 7,5 %, Тальк = 5 %, плотность затворителя – 1,24  $\text{г}/\text{см}^3$ )

При указанных оптимальных условиях формируется магниезальный камень с повышенными физико-механическими свойствами: прочностью при сжатии в пределах 70...80 МПа, водостойкостью с  $K_{\text{вост}} > 0,8$  и относительной линейной усадкой не более 0,5 %.

Следовательно, задача повышения водостойкости магниезального камня при сохранении других свойств успешно решается использованием комплекса из активной минеральной добавки – микрокремнезема и крента – талька.

**В четвертой главе** («Повышение стойкости к растрескиванию магниезального камня») *проведено исследование причин склонности к растрескиванию магниезального камня при эксплуатации, предложен способ модифицирования и определено влияние примененного комплекса модифицирующих добавок на снижение склонности магниезального камня к растрескиванию и другие основные свойства.*

Наблюдения в течение 2 лет за образцами, полученными по ранее проведенному эксперименту, показали, что на большинстве из них (даже на водостойких) при хранении в условиях естественной влажности воздуха и, особенно, при помещении в воду, образовались трещины различной конфигурации. Анализ причин появления трещин и их характер в магниезальном камне позволил установить, что присутствие в магниезальном вяжущем даже небольшого количества пережога  $\text{MgO}$  вызывает появление внутренних напряжений, приводящих к образованию трещин, вследствие его гидратации в более поздние сроки твердения (от нескольких дней до года). По результатам химического анализа содержание пережога в применяемом нами каустическом магnezите ОАО «Комбинат Магнезит» колеблется в пределах от 3 до 15 %. В



Рис. 3 Фотография скола магниезального камня (Микрокремнезем = 7,5 %, Тальк = 5 %, плотность затворителя – 1,24  $\text{г}/\text{см}^3$ ) при увеличении  $\times 2500$

диссертационной работе применяли ПМК-75 с содержанием пережога 12 %. Электронная микроскопия позволяет оценить последствия поздней гидратации пережога MgO в затвердевшем магнезиальном камне. На фотографиях скола водостойкого магнезиального камня (рис. 4 и 5), сделанных при различном увеличении, видны нарушения сплошности структуры – трещины, образованные поздней гидратацией пережога MgO.

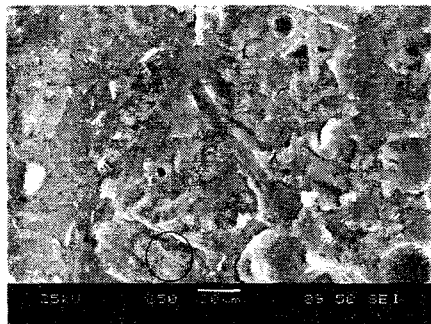


Рис. 4 Фотография скола магнезиального камня (Микрокремнезем = 7,5 %, Тальк = 5 %, плотность затворителя – 1,24 г/см<sup>3</sup>) при увеличении  $\times 650$



Рис. 5 Трещина, образовавшаяся вследствие гидратации пережога MgO в магнезиальном камне (Микрокремнезем = 7,5 %, Тальк = 5 %, плотность затворителя – 1,24 г/см<sup>3</sup>) при увеличении  $\times 4500$

Гидратация MgO в затвердевшем магнезиальном камне приводит к образованию  $Mg(OH)_2$ , с увеличением объема продукта гидратации в 2,17 раза, при этом возникают напряжения и появляются трещины. При малых количествах пережога образуются локальные трещины, а при значительных – сквозные, магистральные трещины, приводящие к разрушению магнезиального камня. Образование трещин в затвердевшем магнезиальном камне способствует повышению дефектности структуры, развитию сети пор и пустот, а, следовательно, облегчению доступа воды внутрь камня. Это может спровоцировать разложение пентаоксигидрохлоридов магния до гидроксида и вымывание хлоридов магния, что приведет к изменению структуры и свойств магнезиального камня.

С целью снижения склонности к растрескиванию магнезиального камня существует необходимость исследования возможности целенаправленного воздействия на пережог MgO. В этом отношении представляет интерес активация его гидратации в ранние сроки твердения. Для активации гидратации пережога MgO в работе предложено использование хлоридных добавок с активными катионами  $Na^+$  и  $K^+$  ( $NaCl$ ,  $KCl$ ). Исследуемые добавки вводили непосредственно в затворитель. При этом общее количество

хлор-ионов оставалось постоянным, вследствие замены части хлорида магния на соответствующее количество введенной добавки. Для проведения исследований применяли ранее полученное водостойкое магниезальное вяжущее с комплексом добавок: микрокремнезем – 10 %, тальк – 6 %.

Для исследования влияния выбранных добавок-активаторов на свойства получаемого при твердении магниезального камня был спланирован и реализован трехфакторный эксперимент, в качестве основных факторов которого были приняты:

$X_1$  – количество добавки-активатора – хлорида натрия, изменяющееся от 0 до 10 % от массы бишофита;

$X_2$  – количество добавки-активатора – хлорида калия, изменяющееся от 0 до 10 % от массы бишофита;

$X_3$  – плотность раствора затворителя (водного раствора хлорида магния), изменяющаяся от 1,16 до 1,24 г/см<sup>3</sup>.

В качестве откликов выбраны склонность к растрескиванию, коэффициент размягчения (водостойкость), прочность при сжатии в 1, 3, 7, 14 и 28 сутки твердения, водопоглощение и относительные линейные деформации.

Закономерности изменения характеристик магниезального камня, получаемого при разных сочетаниях рассматриваемых факторов, (прочность при сжатии, коэффициент размягчения, водопоглощение и относительные линейные деформации – формулы 6...10) показывают, что с увеличением плотности затворителя с 1,16 до 1,24 г/см<sup>3</sup> повышаются прочность при сжатии в 1 и 28 сутки ( $R_{сж}^{1сутки}$ ,  $R_{сж}^{28сутки}$ ), коэффициент размягчения ( $K_{разм}$ ), отмечено снижение величин водопоглощения ( $W_m$ ) и относительной линейной усадки ( $L^{28сутки}$ ).

$$R_{сж}^{1сутки} = 29,52 - 1,20x_1 - 3,01x_2 + 7,06x_3 - 1,10x_1^2 - 2,10x_2^2 - 4,50x_3^2; \\ F_{расч} 2,5 < F_{табл} 3,3; \quad (6)$$

$$R_{сж}^{28сутки} = 49,7 - 5,8x_1 - 1,5x_2 + 10,7x_3 + 2,7x_1^2 + 3,2x_1x_3 + 2,7x_2^2 - 3,1x_3^2; \\ F_{расч} 2,45 < F_{табл} 3,3; \quad (7)$$

$$K_{разм} = 0,65 - 0,06x_1 - 0,07x_2 + 0,08x_3 - 0,03x_1^2 + 0,01x_1x_2 - 0,03x_1x_3 + 0,03x_2^2 + \\ + 0,04x_2x_3 + 0,03x_3^2; F_{расч} 0,71 < F_{табл} 3,3; \quad (8)$$

$$W_m = 9,02 + 0,53x_1 + 1,13x_2 - 1,88x_3 - 0,21x_1x_2 - 0,17x_2^2 - 0,26x_2x_3 - 0,72x_3^2; \\ F_{расч} 0,16 < F_{табл} 3,3; \quad (9)$$

$$L^{28сутки} = 0,43 - 0,08x_1 - 0,04x_2 - 0,03x_3 - 0,11x_1^2 - 0,05x_1x_2 + 0,11x_2^2 + 0,03x_1x_3 + \\ + 0,05x_2x_3 + 0,34x_3^2; F_{расч} 0,14 < F_{табл} = 3,3; \quad (10)$$

Анализ полученных результатов показал, что наибольшую склонность к растрескиванию проявили образцы, не имеющие хлоридных добавок-активаторов или содержащие их в количестве до 5 %. На остальных образцах магниезального камня при выдерживании в воде 7 суток не отмечено появление трещин. Следовательно, для получения магниезального камня не

склонного к растрескиванию при нахождении в воде, количество добавок с активными катионами  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  должно быть не менее 10 % от массы бишофита.

Образцы, претерпевшие растрескивание, имели трещины, значительно отличающиеся по внешнему виду, что связано с разной природой их образования. Было отмечено 2 разновидности трещин, вид которых представлен на рис. 6.



а)  $1,16 \text{ г/см}^3$



б)  $1,24 \text{ г/см}^3$

Рис. 6 Растрескивание магниального камня, полученного при разной плотности затворителя

Выявлено, что на характер растрескивания оказывает влияние плотность используемого затворителя и наличие пережога  $\text{MgO}$ . Так при плотности затворителя  $1,16 \text{ г/см}^3$  на образцах-лепешках, не содержащих добавки-активаторы (см. рис. 6.а), при выдерживании в воде по всей поверхности появляется сетка трещин с одновременным увеличением объема образца, что связано с набуханием гигроскопичного  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , это не исключает участие в растрескивании пережога  $\text{MgO}$ . При плотности затворителя  $1,24 \text{ г/см}^3$  на образцах-лепешках, не содержащих добавки-активаторы (см. рис. 6.б), отмечены сквозные, магистральные трещины, которые связаны с гидратацией, присутствующего в затвердевшем прочном магниальном камне пережога  $\text{MgO}$ .

Основной целью проводимых исследований являлось получение водостойкого, не склонного к растрескиванию, а, следовательно, стабильного магниального камня. Для этого необходимо было установить наличие области, соответствующей состоянию, при котором магниальный камень характеризуется как водостойкий и не склонный к растрескиванию (рис. 7).

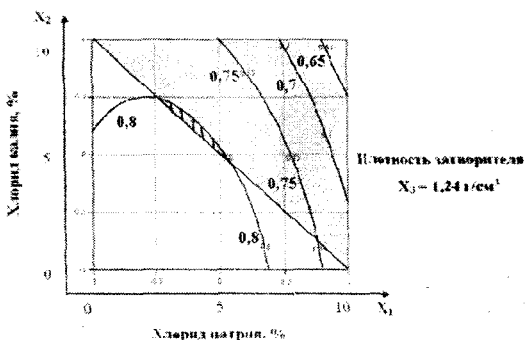


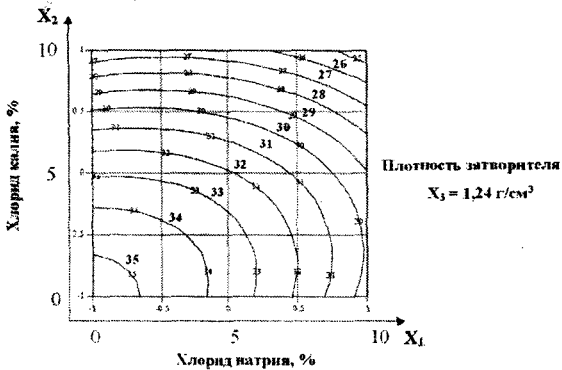
Рис. 7 Область водостойкого, не склонного к растрескиванию состояния магнезиального камня при оптимальном соотношении факторов

Из рисунка видно, что требуемая область (заштрихованная) существует и соответствует следующему сочетанию добавок-активаторов:  $\text{NaCl} = 2,5 \dots 6,0$  % от массы бишофита и  $\text{KCl} = 5,0 \dots 7,5$  %, при этом их общее количество не должно превышать 10 %, при этом необходимо использовать затворитель с плотностью  $1,24 \text{ г/см}^3$ .

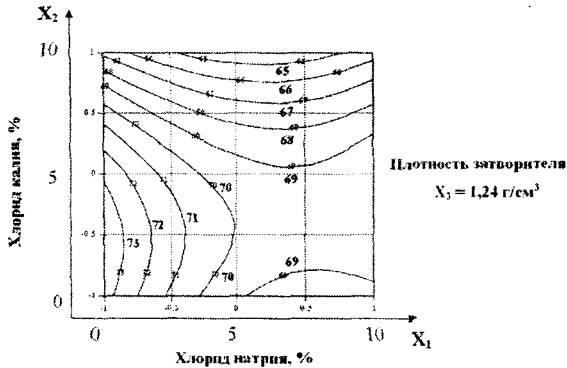
Исследования изменения показателя прочности при сжатии при введении оптимального количества модификаторов показали (рис. 8), что в сравнении с водостойкими образцами, не содержащими добавки-активаторы гидратации пережога  $\text{MgO}$ , отмечено снижение прочности при сжатии в 1 сутки твердения (см. рис. 8а) на 10 %, а в 28 суток (см. рис. 8б) на 5 %, что не существенно для магнезиального камня.

Рентгенофазовый анализ образцов магнезиального камня (рис. 9), содержащих добавки хлоридов натрия и калия в количестве по 5 % каждой, показал в сравнении с составами, не содержащими модификаторы, пониженную интенсивность пиков и содержание в первые трое суток твердения закристаллизованных пентаоксигидрохлорида и гидроксида магния, что объясняет снижение прочности при сжатии в этот период. К 28 суткам количество и интенсивность пиков пентаоксигидрохлорида магния в магнезиальном камне возрастает до уровня бездобавочного, а содержание гидроксида магния значительно ниже. Наблюдается снижение в 2-3 раза интенсивности пиков сильнозакристаллизованного оксида магния, следовательно, большая часть пережога в присутствии добавок-активаторов гидратирует. Сформированная структура также содержит продукты взаимодействия как хлорида натрия, так и хлорида калия. Таким образом, для формирования слабозакристаллизованной структуры при совместном введении рассматриваемых хлоридных добавок их суммарное количество должно быть не менее 10 % от массы бишофита, а для обеспечения водостойкости – не более 10 %.





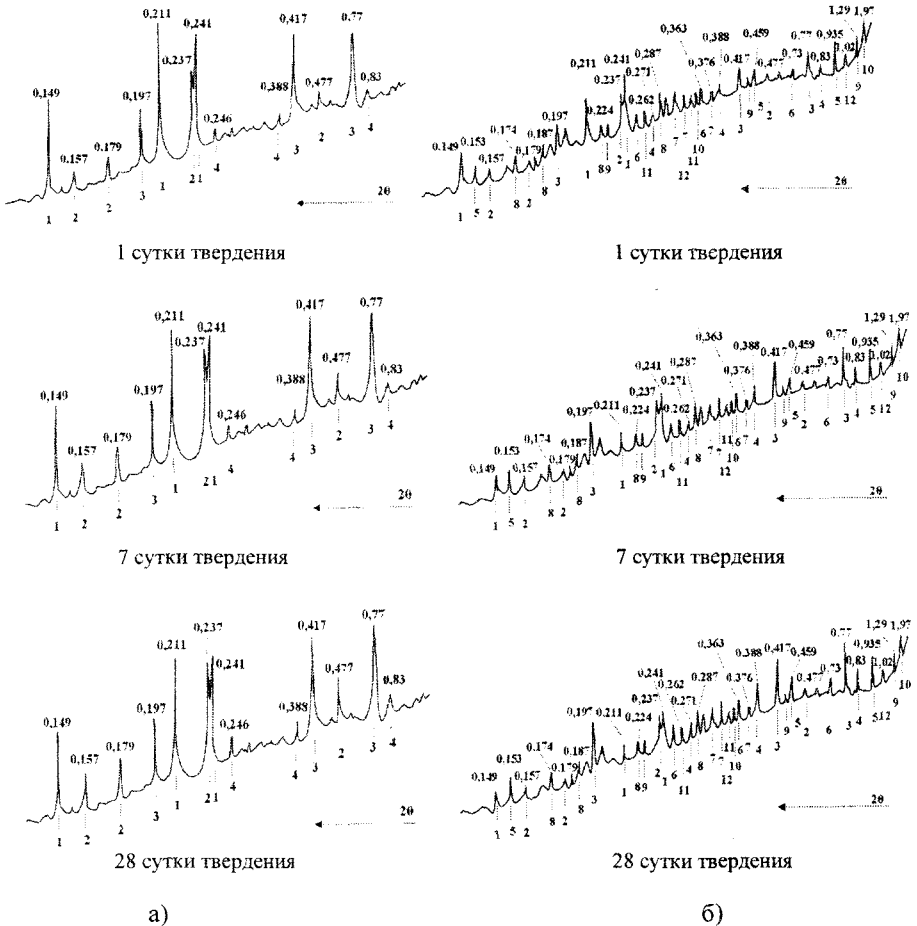
а) 1 сутки



б) 28 суток

Рис. 8 Прочность при сжатии (МПа) модифицированного магнезиального камня в разные сутки твердения

Данные электронной микроскопии (рис. 10 и 11) также свидетельствуют о формировании слабозакристаллизованной, полуаморфной структуры. При этом на сколах модифицированного хлоридным комплексом магнезиального камня не обнаружено дефектов структуры, вызванных поздней гидратацией пережога  $\text{MgO}$ . Это позволило нам утверждать, что либо в ранние сроки твердения процесс гидратации  $\text{MgO}$  прошел достаточно полно, либо процессы растрескивания не произошли, благодаря наличию пластичной гелеобразной фазы в сформировавшейся структуре, а, вероятно, и то и другое.



- а)
- 1 – оксид магния  $MgO$  с  $d/n = 0,149$  (10);  $0,211$  (10);  $0,241$  (3) нм;
  - 2 – гидроксид магния –  $Mg(OH)_2$  с  $d/n = 0,237$  (10);  $0,477$  (9);  $0,179$  (6);  $0,157$  (4) нм;
  - 3 – пентаоксигидрохлорид магния –  $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$  с  $d/n = 0,77$  (10);  $0,417$  (9);  $0,197$  (3) нм;
  - 4 – триоксигидрохлорид магния –  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$  с  $d/n = 0,83$  (10);  $0,388$  (9);  $0,271$  (6) нм;
  - 5 – тальк –  $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$  с  $d/n = 0,935$  (10);  $0,153$  (6);  $0,459$  (5) нм;
  - 6 – антигорит –  $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  с  $d/n = 0,73$  (10);  $0,363$  (10);  $0,252$  (7) нм;
  - 7 – сепиолит –  $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$  с  $d/n = 0,336$  (10);  $0,322$  (10);  $0,376$  (6) нм;
  - 8 – натриевый хлорид магния –  $NaMgCl$  с  $d/n = 0,287$  (10);  $0,224$  (10);  $0,187$  (10);  $0,174$  (8) нм;
  - 9 – натриевый гидросиликат магния –  $NaMgSiOH$  с  $d/n = 1,29$  (10);  $0,434$  (2);  $0,363$  (1) нм;
  - 10 – гидросиликат натрия –  $NaSi(OH)_2$  с  $d/n = 1,97$  (10);  $0,343$  (8);  $0,32$  (5) нм;
  - 11 – калиевый гидросиликат магния –  $KMgSiOH$  с  $d/n = 0,262$  (10);  $0,341$  (8);  $0,337$  (8) нм;
  - 12 – калиевый гидросиликат магния –  $KMgSi(OH)_2$  с  $d/n = 0,334$  (10);  $0,335$  (8);  $1,02$  (5) нм.

Рис. 9 Рентгенограммы магниезного камня в разные сроки твердения:  
 а) без модифицирующих добавок;  
 б) с оптимальным количеством добавок для вяжущего и затворителя



Рис. 10 Фотография скола модифицированного магниального камня ( $\text{NaCl} = 5\%$ ,  $\text{KCl} = 5\%$ , плотность затворителя  $1,24 \text{ г/см}^3$ ) при увеличении  $\times 1300$



Рис. 11 Фотография скола модифицированного магниального камня ( $\text{NaCl} = 5\%$ ,  $\text{KCl} = 5\%$ , плотность затворителя  $1,24 \text{ г/см}^3$ ) при увеличении  $\times 10000$

Таким образом, по данным рентгенофазового анализа и электронной микроскопии модифицирование затворителя комплексом из хлоридов натрия и калия в суммарном количестве 10 % от массы бишофита способствует в ранние сроки твердения активации гидратации большей части пережога  $\text{MgO}$ , а также формированию слабозакристаллизованной структуры, которая позволяет релаксировать напряжения, вызванные данными процессами.

При указанных оптимальных условиях формируется магниальный камень не склонный к растрескиванию, имеющий прочность при сжатии в марочном возрасте в пределах 60...70 МПа, водостойкость с  $K_{\text{разм}} = 0,80...0,82$ , относительную линейную усадку не более 0,6 %.

**В пятой главе** («Исследование свойств бетонов на модифицированном магниальном вяжущем») на основе модифицированной композиции магниального вяжущего исследованы бетоны и их свойства.

Получение бетонов на основе магниальных вяжущих с повышенными эксплуатационными характеристиками, такими как высокая прочность, водостойкость, износостойкость основывается на создании определенной структуры. На формирование структуры с требуемыми свойствами оказывает влияние как магниальное вяжущее, так и подбор заполнителей. При получении бетонов была реализована идея формирования структуры с минимальной пустотностью, то есть с максимальным заполнением пустот в крупном заполнителе, песчаной фракцией.

В качестве вяжущего при проектировании составов бетона было принято разработанное модифицированное магниальное вяжущее, включающее каустический магнезит и модифицирующие добавки (микрокремнезем и тальк) в соотношении 1:0,1:0,06, модифицированный затворитель – водный раствор с плотностью  $1,24 \text{ г/см}^3$ , содержащий хлориды магния, натрия и калия в соотношении (на сухое вещество соли) 1:0,05:0,05.

Для исследования влияния выбранного состава исходных компонентов на свойства получаемого бетона был спланирован и реализован двухфакторный эксперимент, в качестве основных значимых факторов которого были приняты:

$X_1$  – расход модифицированного магнезиального вяжущего, изменяющийся от 250 до 400 кг/м<sup>3</sup>;

$X_2$  – отношение массы затворителя (водного раствора хлорида магния) к массе модифицированного магнезиального вяжущего, изменяющееся от 0,7 до 0,9.

Выбор значений и интервалов варьирования расхода магнезиального вяжущего и соотношения затворителя и вяжущего основывался на желании рассмотреть как жесткие бетонные смеси, позволяющие получать бетоны с максимальными значениями по прочности при сжатии и требующие интенсивного уплотнения, так и более подвижные и даже литые смеси, технологичные и удобные в работе.

В качестве откликов для магнезиальной бетонной смеси была выбрана подвижность, определяемая по осадке конуса, а для магнезиального бетона – прочность при сжатии в 1, 3, 7, 14 и 28 суток твердения, плотность, коэффициент размягчения (водостойкость), водопоглощение.

Исходя из полученных данных с учетом требований по удобоукладываемости смесей были спроектированы магнезиальные бетоны: расход вяжущего – 250...400 кг/м<sup>3</sup>, отношение затворителя к вяжущему – 0,7...0,9, плотность затворителя – 1,24 г/см<sup>3</sup>, расход крупного заполнителя – в соответствии с его насыпной плотностью, расход мелкого заполнителя – в соответствии с пустотностью крупного заполнителя.

Бетон указанного состава обладает следующими технологическими и эксплуатационными характеристиками: подвижность магнезиально-бетонной смеси – 2-4...20-22 см по осадке конуса, сохраняемость подвижности смеси во времени – не менее 30 мин, прочность бетона в 28 суток находится в пределах значений 40...60 МПа, плотность бетона – 2300...2400 кг/м<sup>3</sup>, технологические нагрузки на покрытия допускаются после 20...24 часов твердения, прочность бетона при этом составляет 15...20 МПа, коэффициент размягчения – более 0,8, морозостойкость F150...F200, истираемость – менее 0,1 г/см<sup>2</sup>.

Эффект от применения разработанного модифицированного магнезиального вяжущего основывается на получении стабильного материала с особыми свойствами и расширении существующей базы вяжущих веществ (портландцемента, строительного гипса, извести и т.д.). Получаемые на разработанной композиции вяжущего бетоны и растворы рекомендуется применять для устройства оснований и покрытий полов зданий и сооружений с высоким уровнем эксплуатационных воздействий – в промышленных цехах, на складах, торговых рядах и т.д. Они не пылят, не искрят, экологичны, характеризуются высокой стойкостью к биологической коррозии и могут быть рекомендованы для использования в электротехнических производствах, мебельных цехах, в медицинских учреждениях и т.д.

Экономическая эффективность от внедрения (согласно Акта о внедрении) разработанного магнезиального бетона из высокоподвижной смеси в сравнении с

аналогом: бетоном на основе портландцемента с полимерной добавкой, близкого по основным характеристикам: прочности при сжатии, водостойкости, водонепроницаемости; по стоимости входящих компонентов составила 1500 руб./м<sup>3</sup> или 45 руб. на 1 м<sup>2</sup> покрытия.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработано водостойкое, не склонное к растрескиванию магнезиальное вяжущее модифицированием ПМК-75 комплексом тонкодисперсных минеральных добавок и затворителя комплексом хлоридных добавок с активными катионами Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> при использовании затворителя с плотностью 1,24 г/см<sup>3</sup>.

2. Выявлено, что причиной низкой водостойкости магнезиального вяжущего является фазовый состав, формирующегося при твердении магнезиального камня, состоящий при использовании плотностей затворителя менее 1,20 г/см<sup>3</sup> преимущественно из гидроксида магния, разуплотняющего структуру камня и повышающего его гигроскопичность.

3. Установлено, что для повышения водостойкости магнезиального вяжущего наиболее перспективным является его модифицирование тонкодисперсными минеральными добавками вследствие направленного формирования в структуре дополнительно к оксигидрохлоридам магния водостойких гидросиликатов магния: сепиолита, антигорита и талька, а также снижения количества образующегося гидроксида магния повышением плотности затворителя до 1,24 г/см<sup>3</sup>.

4. Показано, что введение в состав магнезиального вяжущего модифицирующих добавок позволяет получить водостойкий магнезиальный камень с коэффициентом размягчения 0,82. Это достигается при следующих оптимальных количествах добавок: активная минеральная добавка (микрокремнезем) – 7...12 %, добавка-кренг (тальк) – 4...8 %. При этом для получения водостойкого магнезиального камня на модифицированном вяжущем необходимо использовать затворитель с плотностью не менее 1,24 г/см<sup>3</sup>.

5. Выявлено, что растрескивание уже сформированного магнезиального камня происходит вследствие поздней гидратации, присутствующего в исходном ПМК-75 пережога MgO, или преобладания в структуре камня фазы Mg(OH)<sub>2</sub> при использовании затворителя с плотностью менее 1,20 г/см<sup>3</sup>, которая способствует повышению гигроскопичности камня и значительным его усадкам при высыхании.

6. Показано, что для снижения склонности к растрескиванию магнезиального камня, содержащего значительное количество пережога MgO, необходимо использовать затворитель с добавками-активаторами гидратации. В качестве активаторов предложены хлоридные добавки с активными катионами Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup>.

7. Установлено, что добавки NaCl и KCl активируют гидратацию пережога MgO в ранние сроки твердения, формируют слабоакристаллизованную структуру

магнезиального камня, способную релаксировать внутренние напряжения, возникающие вследствие продолжающихся гидратационных процессов.

8. Выявлено, что для получения водостойкого магнезиального камня не склонного к растрескиванию добавки NaCl и KCl необходимо вводить в комплексе в пределах 4...6 % каждой, при их суммарной дозировке, не превышающей 10 % от массы бишофита. При этом рекомендуется применять затворитель – модифицированный водный раствор хлорида магнезия – с плотностью не менее 1,24 г/см<sup>3</sup>.

9. На основании проведенных исследований разработано модифицированное магнезиальное вяжущее, позволяющее получить водостойкий и не склонный к растрескиванию магнезиальный камень, характеризующийся прочностью при сжатии в марочном возрасте в пределах 60...70 МПа, водостойкостью с  $K_{разм} = 0,80...0,82$  и относительной линейной усадкой в пределах 0,6...0,7 %.

10. На полученном модифицированном магнезиальном вяжущем разработаны бетоны с прочностью при сжатии 40, 50 и 60 МПа, имеющие следующие характеристики: коэффициент размягчения  $K_{разм} = 0,80...0,84$ , морозостойкость F150...F200, истираемость не более 0,1 г/см<sup>2</sup> на бетонной смеси с подвижностью (ОК) 2-4...20-22 см.

11. Разработанные способы повышения водостойкости и стойкости к растрескиванию магнезиального вяжущего модифицированием комплексом тонкодисперсных минеральных добавок и введением в затворитель комплекса из хлоридных добавок защищены патентами.

**Основные положения и результаты диссертационной работы отражены в следующих публикациях:**

1. Нуждин С.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Магнезиальные полы повышенной водостойкости. // Межд. сб. науч. трудов «Структура и свойства искусственных конгломератов». – Новосибирск: НГАУ, 2002–2003. – С. 112 – 114.

2. Нуждин С.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Эффективные бетоны на модифицированном магнезиальном вяжущем. // Сб. науч. трудов Межд. науч.-техн. конференции «Композиционные строительные материалы. Теория и практика». – Пенза: ПГАСА, 2003. – С. 186 – 188.

3. Нуждин С.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Проблема трещинообразования в изделиях на основе магнезиального вяжущего. // Юбилейный 25-й межд. сб. науч. трудов «Современные материалы и технологии в строительстве». – Новосибирск: НГАУ, 2003. – С. 48 – 50.

4. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Королев А.С., Нуждин С.В. Бетоны на магнезиальных вяжущих для водостойких полов. // Сб. докладов науч.-практ. конференции «Проблемы повышения надежности и качества строительства». – Челябинск, 2003. – С. 99 – 103.

5. Крамар Л.Я., Королев А.С., Нуждин С.В. Полы повышенной водостойкости на модифицированном магнезиальном вяжущем. // Сб. науч. работ преп. ЧИПС. – Челябинск, 2003. – С. 64 – 68.

6. Нуждин С.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Шаповал А.В. Повышение стойкости к растрескиванию изделий на основе магнезиального вяжущего. // Межд. сб. науч. трудов «Совершенствование качества строительных материалов и конструкций (модели, составы, свойства, эксплуатационная стойкость) материалы и технологии в строительстве». – Новосибирск: НГАУ, 2004. – С. 94 – 97.

7. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Нуждин С.В. Модифицированное магнезиальное вяжущее для бетонов. // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Материалы третьей Межд. науч.-практ. конф. Т.1. – Ростов н/Д: РГСУ, 2005. – С. 317 – 326.

8. Нуждин С.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Оценка факторов, влияющих на склонность изделий из каустического магнезита к растрескиванию при эксплуатации. // Вестник БГТУ им. Шухова, 2005. – №9. – С. 166 – 169.

9. Нуждин С.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Комплексный подход к модифицированию магнезиальных вяжущих. // Материалы X Международной научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса России» при X Международной специализированной выставке «Строительство. Коммунальное хозяйство-2006» Т.1. – Уфа: УГНТУ, 2006. – С. 162 – 163.

10. Крамар Л.Я., Нуждин С.В., Трофимов Б.Я. Исследование причин деформаций изделий из магнезиального вяжущего. // Вестник УГТУ-УПИ. – Екатеринбург. – 2006. – С. 117 – 119.

11. Горбаненко В.М., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Королев А.С., Нуждин С.В. Композиция на основе магнезиального вяжущего. Патент №2238251, Россия, 7 С04 В 28/30, рег. №2002120644/03, заявл. 29.07.2002, опубл. 20.10.2004. Бюл. №29.

12. Крамар Л.Я., Нуждин С.В., Трофимов Б.Я. Композиция на основе магнезиального вяжущего. Заявка № 2005123934/03 (02694)

Нуждин Сергей Владимирович

### **КОМПЛЕКСНО МОДИФИЦИРОВАННОЕ МАГНЕЗИАЛЬНОЕ ВЯЖУЩЕЕ И БЕТОНЫ НА ЕГО ОСНОВЕ**

Специальность 05.23.05 – «Строительные конструкции, здания и сооружения»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Издательство Южно-Уральского государственного университета  
Подписано в печать 18.11.2006. Формат 60×84 1/16. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 392.

---

Отпечатано в типографии издательства ЮУрГУ.  
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.