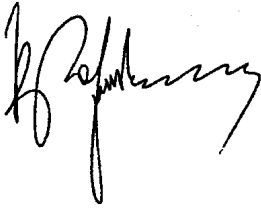


05.23.08

Г 671

На правах рукописи



**ГОРБУНЕНКО ВЯЧЕСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО  
МАГНЕЗИАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО И БЕТОНА  
ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПОЛОВ**

Специальности: 05.23.08 – "Технология и организация строительства"  
05.23.05 – "Строительные материалы и изделия"

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

Челябинск – 2003

Работа выполнена на кафедрах «Технология строительного производства» и «Строительные материалы» Южно-Уральского государственного университета.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент РААСН Головнев С.Г.

Научный консультант – кандидат технических наук,  
доцент Крамар Л.Я.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент РААСН Айрапетов Г.А.,  
кандидат технических наук,  
Шикирянский А. М.

Ведущая организация – ЗАО «Монолит» (г. Челябинск).

Защита состоится « 24 » апреля 2003 года в 15ч. 30 мин на заседании диссертационного совета ДМ 212.298.08 Южно-Уральского государственного университета по адресу: г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан « 22 » марта 2003 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Трофимов Б.Я.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** При строительстве и реконструкции зданий и сооружений работы по устройству полов являются не только технологически сложными, но и обеспечивают необходимые санитарно-гигиенические параметры жилых и других помещений. Поскольку конструкция пола в процессе эксплуатации подвергается интенсивным воздействиям, она, как правило, является многослойной и многофункциональной, что приводит к необходимости применения материалов и технологий, обладающих рядом специфических особенностей.

К сожалению, номенклатура и объем выпуска материалов, позволяющих получать из пластичных, даже самовыравнивающихся растворов и бетонных смесей высокопрочные, стойкие к воздействию воды и истиранию, не пылящих, а также обладающих другими необходимыми свойствами полы далеко не полностью удовлетворяют прогнозируемому изменению архитектурно – конструктивных решений зданий и технологии их возведения.

И в этом плане материалы и технологии на основе магнезиальных вяжущих обладают уникальными свойствами: быстрым твердением, высокой прочностью на сжатие и растяжение, низкой истираемостью, экологической чистотой, сравнительной дешевизной и т.п. Сегодня рынок магнезиальных вяжущих, рекомендованных к использованию в строительстве, представлен одной позицией: каустическим магнезитом марки ПМК-75 (ГОСТ 1216-87). Этот порошок является отходом производства периклаза – продуктом пылеулавливания отходящих газов печей обжига магнезита и отличается значительной неоднородностью свойств, что приводит к снижению долговечности и качества материалов, получаемых на основе этого вяжущего. Кроме того, даже качественное, специально полученное магнезиальное вяжущее отличается низкой водостойкостью и склонностью к трещинообразованию при твердении и изменении влажности окружающей среды.

Все это, а также отсутствие научно-обоснованных технологических принципов получения и применения магнезиальных вяжущих, в том числе при устройстве полов, привело к необходимости проведения данных исследований.

**Целью диссертационной работы** является разработка технологии получения и применения модифицированного магнезиального вяжущего и бетона для устройства бетонных полов повышенного качества.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ технологии устройства бетонных полов и сформулировать требования к магнезиальным вяжущим, бетонам на их основе и способам их получения и применения;
- установить взаимосвязи параметров обжига и свойств каустического магнезита как строительного вяжущего;

- обосновать приемы модифицирования каустического магнезита тонкодисперсными минеральными добавками;
- установить принципы получения бетонов на модифицированном вяжущем и изучить основные свойства и структуру искусственного камня;
- составить технологический регламент на устройство бетонных полов с использованием в качестве вяжущего модифицированного каустического магнезита и проверить правомерность этих положений на практике.

**Научную новизну** работы составляют:

1. Сформулированные требования к каустическому магнезиту, как к вяжущему строительного назначения, в том числе и для устройства полов.
2. Установленные зависимости прочности, водостойкости, трещиностойкости вяжущего от параметров обжига исходного сырья.
3. Зависимости свойств модифицированного водостойкого вяжущего от количества вводимых минеральных добавок.
4. Сформулированный механизм модифицирования водостойкой структуры магнезиального камня путем направленной кристаллизации водостойких гидратных и гидросиликатных магнезий содержащих фаз.
5. Составы тяжелых бетонов на магнезиальном вяжущем с требуемой подвижностью, скоростью твердения, прочностью и истираемостью для полов разного назначения.
6. Технологический регламент на возведение из каустического магнезита полов, обеспечивающий им требуемые качественные характеристики.
7. Заявка на патент №2002 120644/03(021628), приоритет от 29.07.02.

**Практическая значимость результатов** исследований заключается в обосновании требований к каустическому магнезиту, как строительному вяжущему, в части дополнения к существующему ГОСТ 1216, определении параметров обжига магнезита и составлении рекомендаций по подбору составов и технологии применения модифицированного магнезиального бетона с требуемыми технологическими свойствами по темпам набора прочности, водостойкости и подвижности смеси.

Технологические рекомендации по параметрам обжига магнезита прошли проверку на Саткинском ООО «Комбинат магнезит», а при устройстве магнезиальных полов – в ООО «Магнезиальный бетон».

#### **Апробация работы.**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 53 и 54 научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета в 2001 и 2002 г.г., на международной конференции «Композиционные материалы. Теория и практика» (г. Пенза 2001 г.); на всероссийской конференции «Состояние и развитие сырьевой базы стройиндустрии Челябинской области» (г. Челябинск, 2001 г.); на международной конференции «Композиционные материалы. Теория и практика» (г. Пенза, 2002 г.); разрабо-

танные технологии получения модифицированных бетонов демонстрировались на строительной выставке «Теплый дом» (г. Челябинск, февраль, 2002 г.).

**Публикации.** Основное содержание работы изложено в 4 статьях.

**Объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка использованной литературы, включающего 116 наименований, и содержит 137 страниц печатного текста, 23 таблицы и 41 рисунок.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется цель и задачи исследований, приводятся положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** анализируется технология устройства монолитных полов и особенности применения различных материалов для этих целей.

Являясь сложной, многослойной конструкцией пол включает покрытие, прослойку, гидроизоляцию, стяжку, теплоизоляцию, звукоизоляцию, подстилающий слой и основание. В зависимости от назначения полы подразделяются на полы для жилых, производственных, общественных и других зданий, весьма различные как по применяемым материалам, так и технологии выполнения работ.

Для производства полов используют цементные бетоны, в том числе и мелкозернистые, асфальтобетон, цементные бетоны с полимерными добавками, полимерные, металлоцементные и т.д. В жилищном и гражданском строительстве при устройстве полов, как правило, устраивают подстилающие монолитные стяжки, по которым настилают финишное покрытие из рулонных материалов, паркета и т.д.

Стяжка является наиболее трудоемким и важнейшим элементом пола, влияющим на его технологические и эксплуатационные характеристики. В соответствии СНиП 2.03.13-88: «...стяжки выполняются для выравнивания поверхности нижележащего слоя, распределения нагрузок по теплозвукоизоляционным слоям, обеспечения нормируемого теплоусвоения пола и создания уклона в перекрытиях...».

Основные требования, предъявляемые к стяжкам, вытекают из их функционального назначения. Стяжка должна быть достаточно прочной, монолитной, без трещин, ровной и горизонтальной, гигиеничной, не пылящей и негнущейся. Кроме того, она должна иметь хорошее сцепление с нижележащим слоем и приклеиваемым покрытием. Смеси для стяжки должны иметь необходимую растекаемость и перекачиваемость, высокий темп твердения и набора прочности.

При этом, согласно СНиП 3.04.01-87 «Изоляционные и отделочные покрытия» марки, цементно-песчаных и других стяжек должны быть не ниже 150 (класс бетона В12,5), а марки раствора и бетона для покрытия М 200 (В 15) и

выше. Смеси на цементной основе, при ряде их положительных свойств, не удовлетворяют перечисленным выше требованиям по целому ряду параметров, прежде всего технологического плана. Это медленный набор прочности, значения которой часто не достигают нормативных требований, вследствие чего стяжка разрушается, и ее приходится удалять; под покрытием таких полов скапливается мелкодисперсная пыль, попадающая в помещение.

Поэтому в Европе и США все больше используют вяжущие на основе других мономинеральных материалов. Но импортные смеси в несколько раз дороже отечественных и практически недоступны для большей части России.

Между тем, в СССР имелся опыт устройства магнезиальных полов и в 40 – 50-е годы прошлого века были проведены научно-исследовательские работы по получению магнезиального цемента и применению его в строительстве в значительных объемах для различных целей. Из ученых и производственников, внесших значительный вклад в это направление, следует отметить Байкова А.А., Баженова Ю.М., Верещагина В.И., Килессо С.И., Кузнецова А.М., Лапшина П.В., Сегаловой Е.Е., Танака Т, Шелягина А.М. и др. Однако в ГОСТе 1216 на порошки магнезитовые включены только требования по массовой доле  $MgO$ , изменению массы при прокаливании, срокам схватывания и прочности при растяжении, но не включены показатели, характеризующие магнезит как строительное вяжущее: плотность вещества, прочность при сжатии и изгибе, их изменение во времени, равномерность изменения объема, водостойкость.

Каустический магнезит представляет собой продукт, получаемый при умеренном обжиге природного магнезита с последующим помолом его до порошкообразного состояния. При затворении этого вяжущего растворами солей ( $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$ ) образуется искусственный каменный материал, характеризующийся высокой прочностью, трещиностойкостью, экологической чистотой и рядом других существенных технологических преимуществ: высокой подвижностью исходной смеси, быстрым набором прочности и т.п.

Вместе с этим процессы образования и твердения каустического магнезита изучены еще не достаточно и не позволяют надежно управлять его свойствами. Это обусловлено сложным комплексным характером происходящих явлений. Рядом исследований показано, что формирующаяся структура магнезиального камня неустойчива и склонна к перекристаллизации, особенно при воздействии на нее воды. Состав продуктов реакции существенно определяется соотношением количеств исходных компонентов – вяжущего и затворителя и их концентрация меняется с течением времени в зависимости от условий твердения. Все эти составляющие магнезиального камня имеют высокую гигроскопичность, что приводит к значительному снижению его водостойкости, влияющей, в конечном счете, на прочность, трещиностойкость и долговечность конструкции пола.

Одним из путей повышения водостойкости и других технологических характеристик цементного камня и бетона является применение минеральных добавок-модификаторов магнезиальных вяжущих, оказывающих значительное

влияние на процессы кристаллизации, образование водостойких фаз в продуктах твердения.

Растворы и бетоны на магнизиальных вяжущих обладают довольно разнообразными свойствами. Имея более нейтральный химический характер, по сравнению с портландцементом, эти вяжущие можно использовать как для изготовления смесей на органических заполнителях, так и на минеральных. С использованием каустического магнезита производят ксилолит (органические опилки), фибролит (длинноволокнистая масса), пемзолит (пемзовый песок), магнолит (природные каменные материалы) и т.п. Такие бетоны являются огнестойкими, конструкции пола имеют высокую поверхностную твердость, химическую стойкость, плотность, они водонепроницаемы, ремонтнопригодны и т.д.

Однако использование в качестве крупного и мелкого заполнителей природных минеральных пород, а также отходов их переработки, почти не рассматривалось, и поэтому многие показатели таких смесей неизвестны.

При устройстве полов различного назначения предпочтение отдается высокоподвижным литым смесям, позволяющим значительно упростить технологию работ и повысить их качество. В тоже время если для ксилолитовых и фибролитовых бетонов есть рекомендации по подбору составов и методам производства работ, то для магнолитовых бетонов таковые отсутствуют. Поэтому возникла необходимость исследования влияния состава такого бетона на прочностные свойства, подвижность, темп твердения, водостойкость и т.п.

*Во второй главе* представлены характеристики материалов для исследований и приведены результаты исследований физико-химических превращений сырого магнезита в процессе обжига.

Для обжига применялся дробленный сырой магнезит Саткинского месторождения фракции 0...40 мм, содержащий 94 % магнезита, 2,7 % –  $\text{CaCO}_3$ , 0,8 % – кремнезема с небольшим количеством других примесей. Кроме этого каустического магнезита в экспериментах применялось вяжущее, полученное в результате улавливания пыли. В качестве затворителя использовали бишофит, так как он позволяет получать материалы с наибольшей прочностью. В работе использовали в качестве добавок доменный гранулированный шлак и природный гидросиликат магнезия. Мелким заполнителем служили отсеы дробления доломита Саткинского месторождения или природный кварцевый песок (модуль крупности 2,5), крупный заполнитель представлен доломитовым щебнем фракции – 5...20 мм.

Для изучения свойств вяжущих и бетонов применяли стандартные методики для определения плотности вещества, прочности при сжатии, при растяжении и изгибе, нормальную густоту, активность, сроки схватывания, водопоглощение и т.д. По специальным методикам определялись истираемость и трещиностойкость.

Фазовые изменения, происходящие в сыром магнезите при его термообработке, изучались при помощи дифференциально-термического, рентгенофазового анализов, а также методами световой и электронной микроскопии.

С целью создания математических моделей изучаемых технологических процессов и их статистического анализа использовалось математическое планирование эксперимента, включающее выбор и обоснование плана эксперимента, проведение опытов по выбранному плану с необходимым количеством повторов, математическую обработку результатов экспериментов с целью получения регрессионных зависимостей и их анализа. При реализации 3-х факторных экспериментов использовались планы второго порядка «Хартли», позволяющие получать регрессивные зависимости вида  $y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ijk} x_i x_j x_k$ .

На первом этапе исследования был проведен предварительный эксперимент, включающий обжиг порошкообразной фракции магнезита тонкого помола, что предполагало наиболее полное перерождение вещества во всем объеме материала при заданных режимах термообработки.

Полученные результаты и обобщение работ других авторов показало, что магнезит в процессе обжига претерпевает следующие стадии изменения: декарбонизацию, спекание (уплотнение), кристаллизацию в периклаз.

Установлено, что строительные магнезиальные вяжущие являются слабо закристаллизованными продуктами полной декарбонизации магнезита. Дополнительная температурная выдержка полученного материала при обжиге приводит к уплотнению декарбонизированной дефектной структуры магнезита с дальнейшей кристаллизацией ее в периклаз, который не может быть использован в строительстве.

На основе выполненных исследований нижним пределом обжига принята температура 800°C, а верхним – 1000°C, учитывая при этом, что в коротких вращающихся печах магнезит обжигается при температурах от 900 до 1000°C.

Кроме этого, устанавливалось оптимальное время обжига и выявлено влияние фракционного состава магнезита. Поэтому для уточнения режима обжига сырого магнезита с целью получения вяжущего для строительной индустрии, был реализован 3-х – факторный эксперимент, в котором кроме температуры и длительности обжига изменялся и фракционный состав (5...10, 10...20, 20...40 мм).

Установлено, что получаемый материал претерпевает постепенное уплотнение и его плотность, вследствие кристаллизации MgO, изменяется от 3,04 до 3,52 г/см<sup>3</sup> и заканчивается процесс кристаллизацией магнезии в периклаз. Изучение влияния размеров обжигаемых кусков магнезита на скорость декарбонизации показало, что разложение магнезита протекает быстрее в кусках фракции 10...20 мм. Это связано с высоким содержанием в кусках магнезита этого размера углисто-хлоритовых примесей.

Кроме этого выявлено, что активность магнезиального цемента и скорость его твердения как в ранние, так и в поздние сроки определяется плотностью вещества.

Наиболее активным является слабозакристаллизованное вяжущее с плотностью от 3,04 до 3,24 г/см<sup>3</sup>, полученное сразу после декарбонизации магнезита. Для магнезиального камня, полученного из такого вяжущего, характерно повышенное тепловыделение при твердении, быстрый набор прочности в на-



чальные сроки, а также значительные деформации, приводящие в дальнейшем к появлению большого количества трещин и сбросу прочности, при насыщении водой этот материал разрушается.

Дополнительная изотермическая выдержка слабозакристаллизованного вяжущего приводит к уплотнению его дефектной структуры, в нем могут появляться даже зародыши периклаза и все это приводит к образованию материала с плотностью от 3,25 до 3,45 г/см<sup>3</sup>. Это вяжущее наиболее пригодно для использования в производстве строительных материалов и его называют каустическим магнезитом. Каустический магнезит твердеет медленнее, хотя уже в первые сутки он набирает 30...60% от марочной прочности, полученный камень имеет меньшие деформации и стоек к растрескиванию (рис. 1).

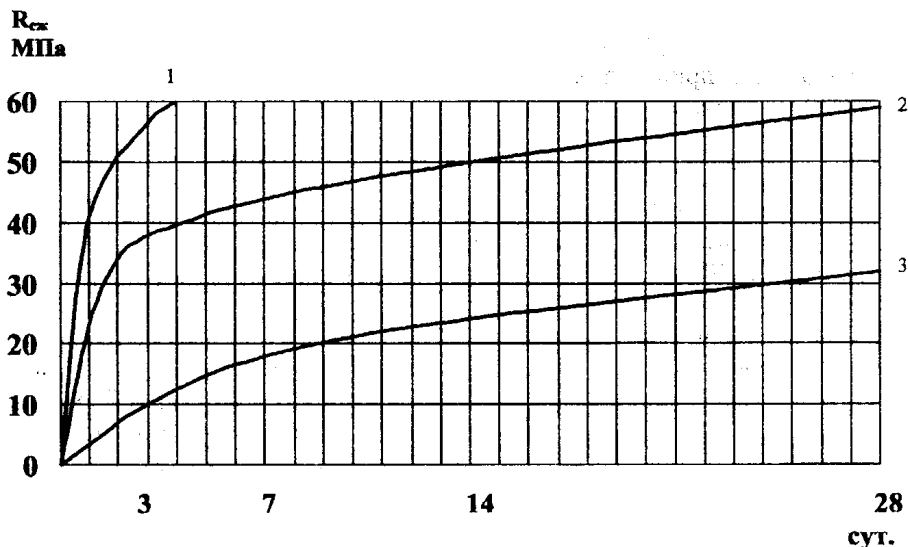


Рис. 1. Кинетика набора прочности MgO различной степени спекания по плотности: 1 —  $\rho=3,04...3,24$  г/см<sup>3</sup>; 2 —  $\rho=3,25...3,45$  г/см<sup>3</sup>; 3 —  $\rho=3,46...3,52$  г/см<sup>3</sup>.

При увеличении продолжительности обжига (при температурах 900...1000° С более 2 часов), происходит кристаллизация каустического магнезита в периклаз, плотность материала повышается до 3,5 г/см<sup>3</sup> и более, а это приводит к значительному снижению активности вяжущего и его используют в производстве огнеупоров.

Трещиностойкость магнезильного камня в воде зависит от плотности вещества вяжущего и его активности, что определяется температурой и длительностью обжига. Длительный обжиг, более 2 часов, при температуре 900...1000°С негативно сказывается на трещиностойкости в связи с образованием пережога или иначе периклаза.

Таким образом установлено, что магнезиальное вяжущее есть декарбонизированный продукт обжига природного магнезита ( $MgCO_3$ ) с плотностью вещества от 3,04 до 3,5 г/см<sup>3</sup>, стабильно получаемый в диапазоне температур от 800 до 1000°С, который отличается разнообразием технологических и эксплуатационных свойств. Прочный и трещиностойкий магнезиальный цемент, каустический магнезит – это продукт уплотнения слабозакристаллизованной фазы  $\alpha$ -MgO до плотности вещества 3,25...3,45 г/см<sup>3</sup>. Основными характеристиками такого цемента является быстрый набор прочности, высокие ее значения, стойкость к трещинообразованию.

Получение такого вяжущего основано на коротком обжиге многофракционной магнезитовой смеси во вращающихся печах при температурах 800°С – 4 часа, 900 – 2 часа, 1000°С – 1,5 часа. Превышение указанных параметров приводит к началу кристаллизации периклаза, что вызывает снижение прочности и трещиностойкости формирующегося магнезиального камня. Занижение параметров обжига приводит к ускорению схватывания и твердения вяжущего и значительной потере трещиностойкости.

Для оценки строительно-технических свойств каустического магнезита кроме требований, регламентируемых ГОСТ 1216, необходимо контролировать плотность получаемого вещества, равномерность изменения объема при твердении и прочность на сжатие получаемого камня в 1 сут. (она должна быть в пределах 10...20 МПа) и в 28 сут. воздушного твердения (40...50 МПа).

Таким образом, регулируя параметры процесса обжига можно получать вяжущие с заданными свойствами и сроками схватывания, однако каустический магнезит является вяжущим воздушного твердения, т.е. он не водостоек, так как коэффициент водостойкости его составляет 0,40...0,56. Следовательно, для расширения области использования и обеспечения долговечности изделий из этого вяжущего требуется модифицирование свойств каустического магнезита с целью перевода его в разряд водостойких, что необходимо также и при устройстве полов.

В третьей главе рассмотрены вопросы модифицирования магнезиального вяжущего с целью повышения его водостойкости введением комплексных тонкодисперсных минеральных добавок. В основе этого направления - гипотеза о повышении технологических и эксплуатационных свойств магнезиального камня путем перевода части гидратных фаз в нерастворимые магниевые или магниевые-кальциевые гидросиликаты при введении добавок доменного шлака и природного гидросиликата магнезия-талька.

Разработку состава модифицированного вяжущего проводили с привлечением метода планирования эксперимента. Значимыми факторами приняты вид, количество минеральных добавок и плотность затворителя. В качестве откликов использовали характеристики прочности при сжатии в 1,3,7,14 и 28 сутокном возрасте, коэффициент водостойкости ( $K_B$ ), открытая пористость ( $r$ , мк), водонепроницаемость ( $W$ , атн). Математическая обработка полученных данных на ЭВМ позволили получить ряд регрессионных уравнений второго порядка коэффициенты которых представлены в табл. 1.

Коэффициенты регрессионных уравнений зависимостей характеристик  
магнезиального камня

отклики	сроки сут	коэффициенты регрессионных уравнений										
		$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{11}$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{22}$	$b_{23}$	$b_{33}$	$F_0$
$R_{ср}$ , МПа	1	25.71	0.699	-6.0	0.4	2.611	2.625	-1.625	-0.89	-3.13	0.111	1.69
	3	32.87	1.7	-4.4	1	1.166	-2.25	-0.5	-0.33	-0.25	-0.333	0.61
	7	35.5	0.5	-4.5	2.1	1.833	-0.25	-2.5	1.83	-3.25	0.833	0.69
	28	44.46	-1.8	-3.2	2.3	-0.33	-0.12	1.62	-2.33	4.62	-2.83	1.96
$k_d$	28	0.81	0.026	-0.03	0.046	-0.094	0.0313	-0.001	0.005	-0.0113	-0.054	0.26
$r$ , мк	28	0.754	0.017	0.031	0.019	-0.047	0.057	0.0996	-0.04	-0.04	-0.092	5.93
$W$ , атн	28	32.24	2.63	-0.59	1.58	-2.128	0.862	-0.06	-2.03	-0.687	-3.777	1.64

Анализ полученных аналитических и графических зависимостей показал следующее.

С повышением плотности затворителя прочность магнезиального камня увеличивается по всей области варьируемых факторов. При этом следует отметить, что при высоких плотностях затворителя ( $1,24 \text{ г/см}^3$ ) набор прочности магнезиального камня происходит наиболее интенсивно в начальные сроки твердения и марочная прочность достигается практически в возрасте 14 суток. При использовании затворителей на средних ( $1,21 \text{ г/см}^3$ ) и низких ( $1,18 \text{ г/см}^3$ ) плотностях процесс твердения вяжущего делится на два периода: первый период - наиболее интенсивный продолжается до 7 суток, когда прочность камня составляет 50..60% от марочной и второй период, который отличается несколько замедленным и равномерным приростом прочности до 28 суток.

Введение добавок неоднозначно сказывается на темпе роста прочности. Добавка шлака способствует некоторой интенсификации процессов твердения в возрасте 3...7 сут с продолжением этой тенденции вплоть до 28 суток. Введение добавки талька приводит к снижению прочности магнезиального камня во все сроки твердения. Причем с повышением плотности затворителя эффект влияния добавки талька на прочность камня повышается, а добавки шлака - снижается. В целом снижение прочности с введением добавок не превышает 25%. Измерение радиуса макрокапилляров сформированного магнезиального камня выявило структурообразующий эффект добавок. На низких и средних плотностях затворителя добавки шлака и талька являются уплотняющими, а на высоких плотностях они способствуют увеличению пористости. Это свидетельствует о высокой степени уплотнения исходных гидратных фаз и некоторой пассивации действия активной минеральной составляющей высококонцентрированным затворителем, так как гидратация шлака возможна только в присутствии воды. Установлено, что магнезиальный камень имеет высокую водонепроницаемость, причем с повышением плотности затворителя водонепроницаемость повышается.

Согласно данным по открытой пористости, непосредственно уплотняющее действие оказывает добавка талька, снижая пористость в целом. Добавка шлака мало способствует снижению интегральной пористости, но изменяет структуру пористости за счет формирования большого количества дисперсных гидратных образований, образующих предпочтительно микрокапилляры. Комплексная добавка шлака и талька в оптимальных дозировках способствует уплотнению структуры магнезиального камня и повышению его водостойкости. Водостойкий модифицированный магнезиальный камень формируется только при плотности затворителя более  $1,2 \text{ г/см}^3$ . Причем максимальные показатели водостойкости при малой плотности затворителя находятся в пределах дозировок шлака от 8 до 10 % и талька от 8 до 9 %, при средней и высокой плотности затворителя – шлака от 6 до 12 % и талька от 3...6 %.

Таким образом, для получения водостойкого магнезиального вяжущего при сохранении технологических характеристик оптимальные значения дозировок добавок являются: для шлака – 8...10 % и для талька – 4...6 %. Использование этих добавок по отдельности не приводит к получению магнезиального камня с требуемыми свойствами.

Применение комплексных добавок позволяет усилить модифицирующий эффект каждой из добавок в отдельности. Добавка шлака взаимодействует с ионами магния и образует водостойкие силикаты магния и кальция. Добавка талька уплотняет структуру магнезиального камня и способствует направленной кристаллизации гидросиликатов магния и экранирует гидрооксихлориды магния от воздействия влаги, внутренних напряжений и процессов резкой перекристаллизации. В целом такое действие приводит к повышению строительно-технологических свойств и стабилизации формирующейся гидратной структуры магнезиального камня.

В результате исследований, представленных во второй и третьих главах, определены основные технологические приемы получения модифицированного магнезиального строительного вяжущего: обжиг магнезита до получения фазы  $\alpha\text{-MgO}$ , средней активности с истинной плотностью  $3,25... 3,45 \text{ г/см}^3$ ; помол до удельной поверхности  $2800...3000 \text{ см}^2/\text{г}$ ; введение при помолу минеральных добавок: шлака – до 8...10%, гидросиликатов магния до 4...6%.

На Саткинском комбинате "Магнезит" была выпущена опытная партия такого вяжущего. Регулировалось время термообработки и осуществлялось введение добавок. Было получено шесть порций вяжущего. Оно отвечало требованиям по плотности и активности, обладало необходимой водостойкостью. Свойства такого вяжущего – сроки схватывания, кинетика набора прочности, водостойкость – отвечали требованиям строительного вяжущего. Вместе с этим магнезиальный камень характеризовался безудачностью при твердении, низкой истираемостью, высокой адгезией к заполнителям и поверхностям.

В четвертой главе исследованы свойства бетонов для полов на модифицированном каустическом магнезите. Как уже отмечалось, важнейшими характеристиками бетонов для изготовления оснований и покрытий полов являются

кинетика набора прочности, марочная прочность, удобоукладываемость, истираемость, трещиностойкость при водонасыщении, водостойкость.

Бетонные смеси для возведения полов, особенно для полов с высокими эксплуатационными воздействиями, должны также обладать необходимой подвижностью (О.К. 8...12 см), быстрым набором прочности (30...40% от марочной в течение 24 часов твердения), высоким уровнем прочности (свыше 20 МПа при сжатии), низкой истираемостью (менее 0,6 г/см<sup>2</sup>), трещиностойкостью при твердении и эксплуатации, коэффициентом водостойкости не менее 0,75.

Данные характеристики обеспечиваются не только свойствами модифицированного магнезиального вяжущего, но и структурой полученного бетона, причем в большей мере это отражается на трещиностойкости и истираемости покрытия.

Формирование структуры бетона зависит от расхода вяжущего, отношения затворителя к вяжущему, подбора заполнителей и их фракционного состава. Наиболее желательным является получение структуры бетона с минимальным содержанием магнезиального камня, обеспечивающим максимальное заполнение межзерновой пустотности заполнителя. Это позволяет не только улучшить технологические свойства, но и снизить расход основного дорогостоящего компонента – модифицированного вяжущего.

Помимо отмеченных факторов рассматривалось и влияние плотности затворителя. Выбор величин обусловлен возможностью применения бетонных смесей с различными требованиями по подвижности и даже литых смесей, наиболее технологичных при укладке.

С целью получения оптимальных составов бетона для полов был реализован трехфакторный эксперимент, где значимыми факторами приняты: расход вяжущего – 250...400 кг/м<sup>3</sup>, отношение затворителя к вяжущему – 0,6...0,8, плотность раствора затворителя – 1,18...1,24 г/см<sup>3</sup>. Мелкий заполнитель имел  $M_k=2,5$ , крупный заполнитель состоял из доломита фракции 10...20 мм.

В качестве откликов установлены следующие характеристики: подвижность магнезиальной бетонной смеси, прочность на сжатие в 1-, 3-, 7-, 28- и 180-суточном возрасте, коэффициент водостойкости и водонепроницаемость (W) в марочном возрасте (табл. 2). В этой же таблице представлены результаты экспериментов по оценке истираемости бетона различной подвижностью в возрасте 28 суток.

На основании математической обработки результатов экспериментов получены уравнения регрессии, некоторые из них представлены ниже:

$$R_{ск}^1 = 36,58 + 0,73X_1 - 4,02X_2 + 4,1X_3 - 1,28X_1^2 - 0,35X_1X_2 + 2,7X_1X_3 - 4,13X_2^2 - 0,67X_2X_3 - 2,13X_3^2 \quad (1)$$

$$R_{ск}^{28} = 55,42 + 1,66X_1 - 3,37X_2 + 6,44X_3 - 1,24X_1^2 + 0,58X_1X_2 - 0,087X_1X_3 + 0,31X_2^2 + 2,79X_2X_3 - 3,44X_3^2 \quad (2)$$

$$\Pi = 3,02 + 1,2X_1 + 4,00X_2 + 0,20X_3 + 0,22X_1^2 + 0,75X_1X_2 + 0,75X_1X_3 + 0,22X_2^2 + 0,25X_2X_3 - 0,25X_3^2 \quad (3)$$

где  $R_{ск}^1$ ,  $R_{ск}^{28}$  – прочность бетона в возрасте 1 и 28 суток, кг/см<sup>2</sup>;  $\Pi$  – подвижность бетонной смеси, см;  $X_1$  – расход вяжущего;  $X_2$  – отношение затворителя к вяжущему;  $X_3$  – плотность затворителя.

Результаты определения физико-механических свойств  
магнезиального бетона

№, п/п	ОК, см	Прочность образцов, МПа в различных период твердения, $R_{cm}$					Исти- рае- мость г/см <sup>2</sup> ,	W, ати	Кэффи- циент водо- стойко- сти
		1 сут	3 сут	7 сут	28 сут	180 сут			
1	0	32,5	39,6	41,9	51,3	53,1	-	18,6	0,66
2	0	24,7	35,2	42,2	49,2	64,8	0,19	24,7	0,70
3	8	21,0	25,8	32,0	33,2	42,0	0,18	16,2	0,68
4	10	23,6	24,6	33,9	42,0	45,0	-	18,1	0,74
5	0	30,2	36,7	54,4	55,9	68,1	-	14,0	0,85
6	2	45,0	54,4	55,2	62,0	80,0	0,17	31,8	0,94
7	6	27,8	39,0	45,6	57,5	66,2	0,18	17,8	0,94
8	12	29,4	31,4	47,1	57,4	67,1	-	37,9	0,94
9	2	36,3	42,5	47,2	52,1	54,0	-	19,4	0,79
10	4	32,4	43,9	48,9	56,0	59,4	0,31	32,1	0,73
11	0	36,3	47,1	57,0	58,3	70,1	-	20,7	0,78
12	6	26,7	44,3	46,9	52,9	56,1	0,34	25,8	0,76
13	4	28,3	37,8	41,2	48,2	54,4	-	17,3	0,74
14	4	38,7	39,5	48,2	55,5	68,0	0,17	30,3	0,96
15	4	40,4	48,4	54,8	55,9	70,2	-	22,8	0,96

Полученные результаты свидетельствуют о следующем.

Минимальный расход вяжущего, обеспечивающий наибольшую прочность, водостойкость и заполнение межзерновой пустотности, составляет 280...330 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от плотности затворителя. При меньших расходах плотность, прочность и водонепроницаемость снижаются.

При больших расходах вяжущего плотность бетона также снижается, при этом увеличивается водонепроницаемость, а прочность остается без изменений. В том же диапазоне расходов вяжущего находится и область максимальной водостойкости бетона. Следует отметить, что величина оптимального расхода вяжущего зависит и от плотности затворителя – с увеличением плотности оптимум снижается от 330 к 280 кг/м<sup>3</sup>.

Полученные данные свидетельствуют об увеличении водостойкости бетонов с повышением плотности затворителя и существования его оптимума. Коэффициент водостойкости бетона изменяется от 0,75 до 0,96 в зависимости от плотности затворителя и величины отношения затворителя к вяжущему.

При оптимальной плотности затворителя наполнитель в магнезиальных бетонах оказывает модифицирующее композиционное действие, проявляющееся в увеличении прочности и водонепроницаемости структуры в сравнении с магнезиальным камнем, не содержащим наполнителя.

С повышением плотности затворителя также увеличивается прочность бетона (рис. 2).

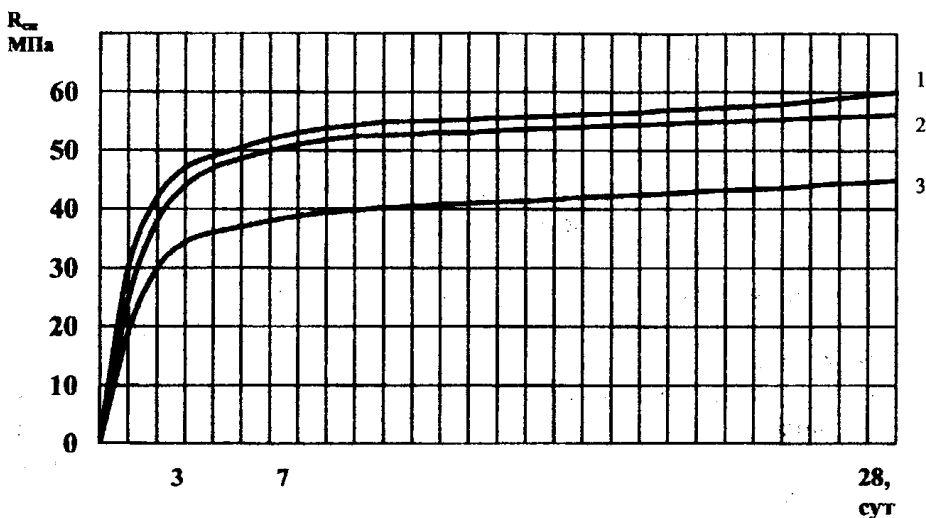


Рис. 2. Кинетика набора прочности магнезиального бетона:  
 1 -  $\rho=1,24 \text{ г/см}^3$ ; 2 -  $\rho=1,21 \text{ г/см}^3$ ; 3 -  $\rho=1,18 \text{ г/см}^3$ .

Видно, что рост прочности магнезиального камня на повышенных ( $1,24 \text{ г/см}^3$ ) и на средних ( $1,21 \text{ г/см}^3$ ) плотностях затворителя отличается большей интенсивностью в ранние сроки твердения. К 7 суткам твердения бетон набирает порядка 80% марочной прочности. На низких ( $1,18 \text{ г/см}^3$ ) плотностях затворителя набор прочности протекает менее интенсивно. Во всех случаях в 1 сут твердения бетоны набирают более 50% марочной прочности.

Следовательно, при подборе состава магнезиального бетона следует исходить из таких условий: расход вяжущего должен быть минимальным при условии оптимального заполнения межзерновой пустотности заполнителя что составляет  $280...330 \text{ кг/м}^3$ ; расход затворителя должен обеспечивать получение подвижных или высокоподвижных смесей марок П2...П4 (О.К. от 5 до 20 см), отношение затворителя к вяжущему должно быть в пределах  $0,7...0,8$ ; плотность затворителя в зависимости от требуемых характеристик бетона должна задаваться в диапазоне  $1,2...1,24 \text{ г/см}^3$ , применение плотностей менее  $1,2 \text{ г/см}^3$  неэффективно, т.к. снижает водостойкость; расход заполнителей рассчитывается исходя из суммы абсолютных объемов материалов.

Магнезиальные бетоны оптимального состава на модифицированном вяжущем являются быстротвердеющими, водостойкими, с высокими плотностью до  $2500 \text{ кг/м}^2$ , прочностью от 40 МПа и более вплоть до 80 МПа и водонепроницаемостью, что позволяет рекомендовать их для получения промышленных полов с высоким уровнем механических воздействий. Кроме этого, применение модифицированного вяжущего и оптимизация зернового состава магнезиального бетона позволяет сократить расход каустического магнезита с  $280...330 \text{ кг/м}^3$

до 250...270 кг/м<sup>3</sup>, что относит полученные бетоны к низкоцементным и обуславливает экономическую эффективность их применения.

В пятой главе представлен «Технологический регламент по устройству сплошных монолитных полов зданий различного назначения на модифицированном каустическом магнезите» и изложен опыт производственного применения.

Во «Введении» отмечается преимущества таких технологий. Это универсальность и возможность применения для различных видов полов и стяжек, экологическая чистота, биостойкость, беспыльность, негорючесть, высокая прочность, низкая истираемость, использование недорогого и недифицитного отечественного сырья и отходов отечественной промышленности.

В первом разделе «Указания по проектированию полов» приведены области применения магнезиальных полов в гражданском и промышленном строительстве. Представлены конструктивные решения двухслойных и однослойных полов. Эти покрытия могут выполняться по тепло-и звукоизоляционным слоям. Перечислены меры по защите от коррозии и возможного увлажнения. Выделены требования к подстилающим слоям и стяжкам, как в части подготовки поверхности, так и физико-механическим характеристикам. Приведен перечень строительных норм и правил.

Во втором разделе «Материалы для магнезиальных смесей» изложены требования к каустическому магнезиту, хлористому магнию (бишофиту), к мелкому заполнителю, химическим добавкам. Истинная плотность каустического магнезита должна составлять 3,25 ... 3,45 г/см<sup>3</sup>, тонкость помола должна характеризоваться проходом через сито № 0,0085 не менее 95% веществ, начало схватывания не ранее 40 мин, конец схватывания – не позднее 5 часов. Требования по прочности составляют: при сжатии от 20 до 50 МПа, при изгибе от 5...15 МПа. Также изложены требования по водостойкости и равномерности изменения объема. Каустический магнезит принимается партиями, размер которой соответствует размеру единичных поставок. В состав приемно-сдаточных испытаний включается проверка сроков схватывания, прочности при сжатии в 1 сутки твердения (которая не должна превышать 70% от марочной), равномерности изменения объема при твердении, водостойкости и класса прочности при сжатии. Кроме этого, должны проводиться испытания для каждой новой партии, которые должны включать определение плотности вещества, нормальной густоты, сроков схватывания, предела прочности при сжатии и изгибе в 1 и 28 суток твердения, равномерности изменения объема при твердении, водостойкости. Здесь же представлены методы контроля соответствующих характеристик как по действующим ГОСТам, так и по разработанным методикам.

Третий раздел «Приготовление и укладка магнезиальных бетонов» содержит перечень и характеристики машин и механизмов, ручного инструмента, средств индивидуальной защиты и контрольно-измерительного инструмента. В соответствии с заданием на подбор состава смеси, которым устанавливаются требования к бетону, предварительно определяют соотношение компонентов при различной плотности бишофита. Это соотношение в значительной степени



зависит от удобоукладываемости, определяемой по осадке стандартного конуса. Приготовление смеси должно производиться в специальных смесителях принудительного действия и объем замеса магнезиальной смеси следует назначать из условия укладки смеси до начала схватывания. Смесь перемешивается до полной однородности. Приведены рекомендуемые значения продолжительности перемешивания смеси. В построчных условиях предпочтительнее использовать готовые сухие смеси, приготовленные и расфасованные в заводских условиях. Укладка смеси может быть начата только после окончания в помещении работ, при которых возможно сильное увлажнение пола (например, опрессовка системы отопления), а также после остекления окон и установки дверей и просушки помещений. Относительная влажность воздуха и температура не должны превышать значений СНиП. Вначале твердение смеси на первом этапе должно проходить в сухих условиях, а в дальнейшем – желательно при повышенной влажности. Также необходимо укрытие поверхности. Состав технологических процессов включает грунтовку основания, укладку смеси между маячными рейками, разравнивание и уплотнение виброрейкой. После достижения необходимой прочности поверхность бетона выравнивается зачищающей машиной и осуществляется съём направляющих с заполнением борозд специальным составом.

Четвертый раздел содержит описание, в виде технологических карт, процессов подготовки основания, приготовления магнезиальных смесей, устройства стяжки и покрытия.

Пятый раздел «Контроль качества» содержит требования к точности геодезических работ, допускам по геометрическим размерам, прочностным и другим характеристикам. Требования безопасности включают определение концентрации вредных веществ в рабочей зоне, к используемым материалам и обеспеченности рабочих средствами индивидуальной защиты.

Положения разработанного технологического регламента были применены при устройстве стяжек и подготовок на строительстве жилых домов в г. Челябинске – 300 м<sup>2</sup>, полов промышленных зданий, складских помещений в Московской области общей площадью 12 000 м<sup>2</sup>.

Затраты на подготовку 1 м<sup>2</sup> основания составляет 0,06...0,3 чел.-ч., приготовления 1 м<sup>3</sup> смеси – 2,9...3,6 чел.-ч., устройство 1 м<sup>2</sup> покрытия в зависимости от толщины 2,1...2,5 чел.-ч. Стоимость 1 м<sup>2</sup> сплошного монолитного пола составляет от 300 до 600 руб. в зависимости от конструктивных особенностей пола.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В результате анализа существующей технологии устройства монолитных полов установлено, что используемые материалы и применяемые способы производства работ не обеспечивают требуемые физико-механические и санитарно-гигиенические характеристики элементов пола.

2. Доказано, что для оценки строительно-технических свойств каустического магнезита, кроме требований ГОСТ 1216, необходимо регламентировать: плотность вещества ( $3,25...3,45 \text{ г/см}^3$ ), трещиностойкость магнезиального камня, прочность при сжатии в 1 сут воздушного твердения ( $10...20 \text{ МПа}$ ) и в 28 сут – более  $40\text{--}50 \text{ МПа}$  и другие показатели.

3. Установлено, что каустический магнезит с требуемыми свойствами можно получить при обжиге в течение  $1,5...2$  часов многофракционной магнезитовой смеси во вращающихся печах при температуре  $950...1000^\circ\text{C}$ . Превышение указанных значений приводит к началу кристаллизации  $\alpha\text{-MgO}$  в периклаз с потерей активности и трещиностойкости. Недостаточный обжиг приводит к ускорению твердения вяжущего, вызывает неравномерность изменения объема и растрескивание материала.

4. Выявлено, что введение в магнезиальное вяжущее комплексных тонкодисперсных минеральных добавок шлака ( $8...10\%$ ) и талька ( $4...6\%$ ) способствует модифицированию процессов структурообразования магнезиального камня и, как следствие, повышению ряда технологических и эксплуатационных свойств в сравнении с бездобавочным магнезиальным вяжущим: замедлению сроков схватывания и ускорению процессов структурообразования в начальные сроки твердения; увеличению водостойкости до уровня  $0,8$ ; увеличению плотности и водонепроницаемости магнезиального камня на  $30...40\%$ ; экономии до  $15...20\%$  каустического магнезита и т.п.

Полученное вяжущее может быть рекомендовано для устройства покрытий полов с прочностью при сжатии до  $40...50 \text{ МПа}$  из магнезиальных смесей высокой подвижности и для применения в сухих строительных смесях.

5. Показано, что мелкий и крупный заполнитель в магнезиальных бетонах оказывает модифицирующее композиционное действие, проявляющееся в увеличении прочности и водонепроницаемости структуры. При этом состав магнезиального бетона должен подбираться с учетом следующего. Расход вяжущего должен быть минимальным при условии оптимального заполнения межзерновой пустотности заполнителей ( $280...330 \text{ кг/м}^3$ ); количество затворителя должно обеспечивать получение подвижных или высокоподвижных смесей марок П2...П4, при отношении затворителя к вяжущему  $0,7...0,8$ , а плотность затворителя может изменяться в диапазоне  $1,2...1,24 \text{ г/см}^3$ . Применение модифицированного вяжущего и оптимизация состава магнезиального бетона позволяет сократить расход каустического магнезита до  $250...270 \text{ кг/м}^3$ , что относит полученные бетоны к низкоцементным и обуславливает эффективность их применения.

6. Проведена производственная проверка разработанных технологий получения модифицированного вяжущего. Разработан технологический регламент по устройству сплошных монолитных полов и осуществлено применение магнезиальных бетонов при устройстве полов. Они подтвердили правильность предлагаемых технологических рекомендаций по повышению физико-механических характеристик монолитных полов.

Основные положения диссертации изложены в следующих публикациях:

1. Горбаненко В.М., Королев А.С., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Получение магнезиальных бетонов на основе отходов промышленного производства // Использование отходов и местного сырья в строительстве. Междунар. сб. науч. тр. – Новосибирск: НГАУ, 2001. – С. 63–66.

2. Головнев С.Г., Горбаненко В.М. Развитие строительных технологий на основе магнезиальных вяжущих веществ // Материалы юбилейной конференции / Успехи строительного материаловедения. – М.: Российская академия архитектуры и строительных наук, 2001. – С. 164–165.

3. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Горбаненко В.М. Получение магнезиального вяжущего для строительных целей // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Сб. науч. тр. Межд.научно-прак. конф. – Пенза, 2002. – С. 217–219.

4. Королев А.С., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Горбаненко В.М. Теория и практика создания модифицированных магнезиальных цементов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». Вып. 1. – № 5. – Челябинск, 2002. – С. 10–13.

Издательство Южно-Уральского государственного университета

---

ИД № 00200 от 28.09.99. Подписано в печать 12.03.03. Формат 60×84 1/16.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 45/29.

---

Группа МЭНП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.