

2. **Баженов Ю. М.** Опыт применения песчаного бетона в жилищном строительстве / Ю. М. Баженов, Е. С. Темкин, А. Б. Кузанов, В. Т. Филипский // Бетон и железобетон. – М., 1973. – № 5. – С. 3 – 4.
3. **Баженов Ю. М.** Технология бетона / Ю. М. Баженов. – М. : Высшая школа, 1978. – 455 с.
4. Железобетонные изделия из мелкозернистого неавтоклавного бетона / В. Н. Байков, А. В. Волженский, И. А. Трифонов [и др.] // Бетон и железобетон. – М., 1973. – № 5. – С. 6 – 8.
5. **Веригин Ю. А.** Турбулентная активация вяжущих цементно-песчаного бетона / Ю. А. Веригин, Н. С. Преображенский // Бетон и железобетон. – М., 1973. – № 5. – С. 19.
6. **Воробьев Ю. А.** Товарный мелкозернистый бетон на обогащенном песке / Ю. А. Воробьев, Д. С. Симоненко // Бетон и железобетон. – М., 1973. – № 5. – С. 19 – 20.
7. Опыт применения мелкозернистых автоклавных бетонов / И. М. Красный, В. М. Медведев, Г. И. Уचाкин [и др.] // Бетон и железобетон. – М., 1973. – № 5. – С. 4 – 6.
8. **Сторожук Н. А.** Вибровакуумирование бетонных смесей и свойства вакуумбетона / Н. А. Сторожук. – Д. : Пороги, 2008. – 251 с.

УДК 666.941.2

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

*В. Н. Деревянко, д. т. н., проф., А. П. Полтавцев, к. т. н., доц., А. А. Максименко, асп.,
Т. В. Мартыненко, Н. В. Кондратьева*, к. т. н., доц.*

**Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный
химико-технологический университет»*

Ключевые слова: *магнезиальное вяжущее, свойства, методы исследований, приборы*

Введение. Эффективность проведения экспериментальных исследований во многом зависит от применяемых методов и аппаратурного оснащения. В каждом конкретном случае исследователи, исходя из поставленных задач, разрабатывают методологию, подбирают методы проведения экспериментов, приборы и оборудование. Для экспериментальных исследований основными требованиями являются достаточная точность и повторяемость. Задача облегчается при наличии нормативных документов. Отсутствие таковых требует подбора или разработки методик, оборудования и установок, и, соответственно, обоснования для их применения.

Технические условия, действующего в настоящее время ГОСТ 1216-87 «Порошки магнезиальные каустические» (ПМК-75), рекомендуют использовать в качестве вяжущего строительного назначения отход огнеупорной промышленности – пыль с электрофильтров, печей производства периклаза. Но необходимых, на наш взгляд, требований, гарантирующих его строительно-технические свойства, не содержит.

Анализ публикаций. Известный специалист Л. Я. Крамар в работе [9] рассматривает требования, предъявляемые разными сторонами к специально выпускаемым для строительных целей магнезиальным вяжущим. Сводные данные характеристик магнезиального вяжущего строительного назначения включают: существовавший в СССР до 1960-х годов норматив ОСТ 3035-33, германский DIN 273 ч. 1, норматив США ASTM 323 и действующий в России ГОСТ 1216-87.

Материалы и методы. Так, регламентируемый химический состав вяжущего в соответствии с ГОСТ 1216-87 включает содержание MgO, CaO, SiO₂ и изменение массы при прокаливании должен представлять информацию о полезной и вредной части вяжущего. При этом, если говорить о полезной составляющей MgO, то в нормативе отображено только общее содержание оксида магния, определяемое химическим методом. Хотя эта характеристика может включать свободный MgO, а также связанный с угольной кислотой (MgCO₃) и с водой – Mg(OH)₂. Кроме того, MgO может быть разной степени закристаллизованности: слабо закристаллизованным, почти аморфным и высокоактивным, средне закристаллизованным и, соответственно, среднеактивным, а также в виде обожженного периклаза, так называемого пережога, представляющего хорошо закристаллизованный слабоактивный материал [3; 8]. Следовательно, эта часть ГОСТа должна уточнять, в каком виде в вяжущем присутствует MgO, определять его основные технические свойства, качество и долговечность получаемых материалов.

Оксид кальция (CaO) в магнезиальном вяжущем может присутствовать в виде CaO-пережога, который вызывает значительное изменение объема, появление трещин в затвердевшем камне и его коробление, а также в виде Ca(OH)₂ или CaCO₃, присутствие которых в материале не опасно.

Потери при прокаливании указывают на присутствие в вяжущем карбоната магния или гидроксида магния Mg(OH)₂. Это может свидетельствовать в первом случае о недостаточном обжиге исходной породы, и вследствие этого о присутствии в вяжущем высокоактивной магнезии, снижающей трещиностойкость магнезиального камня. А во втором – о плохом хранении вяжущего, приводящем к снижению его активности.

Технологическими характеристиками каустического магнезита в соответствии с ГОСТ 1216-87 являются: дисперсность порошка, предусматривающая полный проход через сито 02, сроки схватывания магнезиального вяжущего после затворения MgCl₂ × 6H₂O – начало и конец схватывания магнезиального теста нормальной густоты, а также предел прочности при растяжении. По этим характеристикам, за исключением начала схватывания, невозможно предсказать поведение материалов на магнезиальном вяжущем при эксплуатации, особенно на основе побочных продуктов производства.

Большинство рассматриваемых стандартов обязательно включают требование к равномерности изменения объема. В действующем ГОСТ 1216-87 этот показатель отсутствует, что представляется крупным упущением. Без испытания вяжущего на равномерность изменения объема нельзя быть уверенным в том, что изделие при эксплуатации не покоробится или не растрескается. Такое явление в магнезиальном вяжущем может возникнуть вследствие неоднородного состава магнезии, включающей наравне с нормально обожженным вяжущим слабообожженный оксид магния или его пережог [2; 10]. Примерно такую же роль играет показатель истинной плотности вяжущего из саткинских магнезитов, принятых в ранее существовавшем ОСТ 3035-33 в пределах от 3,2 до 3,4 г/см³. Этот показатель позволяет при использовании сырья с одного места рождения контролировать получение вяжущего с содержанием среднезакристаллизованного, с умеренной активностью MgO. При получении магнезиального вяжущего из пород, значительно отличающихся минеральным составом, а также количеством основного компонента и примесей, значения истинной плотности, указывающие на присутствие среднезакристаллизованного MgO, будут другими. Следовательно, этот показатель не является универсальным.

Зарубежные специалисты, также в качестве важной характеристики, включают насыпную плотность вяжущего при дополнительной вибрации, с помощью которой можно полнее характеризовать пригодность вяжущего для применения в строительных целях слабо закристаллизованного MgO, который при помолу сильно электризуется и, собственно, плохо уплотняется. Насыпная плотность слабо закристаллизованного MgO в уплотненном состоянии колеблется в пределах 900 – 950 кг/м³, а насыпная плотность сильно закристаллизованного MgO составляет $\rho_{он} = 1250 - 1350$ кг/м³. Для среднезакристаллизованного вяжущего, стойкого к растрескиванию, насыпная плотность при использовании дополнительного уплотнения должна быть $\rho_{он} = 1115 - 1250$ кг/м³, расхождение между параллельными испытаниями не должно превышать $\pm 0,03$ г/см³. Следовательно, насыпная плотность при дополнительном уплотнении может служить косвенной характеристикой пригодности MgO для строительных целей.

Сроки схватывания вяжущего, кроме уточнения особенностей работы с ним, дают также информацию об активности MgO. Так, если начало схватывания вяжущего составляет 20 минут и менее, то оно непременно содержит в некотором количестве высокоактивный, слабообожженный MgO, что для качественного магнезиального вяжущего строительного назначения не желательно. Слишком затянувшиеся сроки схватывания указывают на присутствие в вяжущем значительного количества пережога, что вызывает в последующем растрескивание изделий [4]. Начало схватывания в ОСТ 3035-33 и DIN 273 ч. 1 должно быть не менее 40 мин., а стандарт США начало схватывания предусматривает через 60 минут. Российский ГОСТ 1216-87 допускает начало схватывания не менее чем через 20 мин. после затворения, что позволяет считать пригодными любые магнезиальные порошки с непредсказуемыми техническими свойствами.

Для строительных изделий важными показателями являются прочность при сжатии ($R_{сж}$) и изгибе ($R_{изг}$). Эти характеристики включены в немецкий и американский нормативы, в применяемом стандарте в Украине их нет. По величине $R_{сж}$ через 1 сутки твердения можно судить об активности вяжущего, а по прочности вяжущего в возрасте 28 суток – о его марке.

Таким образом, перечень основных требований при разработке магнезиальных вяжущих и

изделий на их основе можно разделить на три группы:

1 – технические условия по производству магниезных вяжущих, то есть параметры обжига и основные характеристики готового продукта: плотность, размеры кристаллов, сроки схватывания и т. д.;

2 – технические условия, обеспечивающие разработку и производство растворов и бетонов на основе магниезных вяжущих для производства изделий строительного назначения;

3 – требования при модификации вяжущих, растворов и бетонов.

Следующая задача – инструментальное обеспечение проводимых исследований, которые включали натурные и вычислительные эксперименты. В натуральных экспериментах использовались ДТА, РФА, ультразвуковой высокочастотный, химические методы анализа и стандартные методы определения физико-механических свойств. Вычислительные эксперименты выполнены по разработанным в ПГАСА и авторским методикам. Исследование физико-механических свойств образцов, изготовленных на основе магниезных вяжущих, проводилось в лаборатории строительных материалов кафедры ТСМИК ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры».

Общая схема исследований минералогического состава магниезных вяжущих и их морфология представлено на рисунке 1 [1; 5; 7].



Рис. 1. Схема анализа образцов магниезных вяжущих и композиций на их основе

Совокупность методов анализа, представленных на схеме, позволяет всесторонне исследовать морфологию композиционного материала и структуру новообразований.

Рентгенофазовый анализ при исследовании исходных материалов и новообразований в структуре затвердевших композиций проводили на дифрактометрах общего назначения ДРОН-2 и ДРОН-3, с использованием метода порошка [2], с применением съемки с дифрактометрической регистрацией. В качестве катода электрической трубки использован в зависимости от состава компонентов кобальт и медь. При идентификации фаз в ходе качественного анализа учитывались следующие обстоятельства. В связи с исследованием многофазных композиций величины межплоскостных расстояний на эталонной и расшифровываемой рентгенограммах могут отличаться друг от друга на величину до 2 %. Надежность идентификации устанавливали при совпадении не менее 4 наиболее интенсивных отражений для данного соединения; при сравнении интенсивностей дифракционных максимумов исследуемой и эталонной рентгенограмм учитывалось, что соотношения интенсивностей и характер отражений меняются в зависимости от состава композиций, размера кристаллов, условий съемки.

Для достоверной интерпретации полученных в результате рентгенофазового анализа данных необходимо исследовать магниезные композиции с использованием инфракрасных спектрометров. Инфракрасные спектры позволяют определить групповые движения в молекулах, связанные с различными характеристическими частотами и, таким образом, становится возможным оценивать смещения частот при изменении внутримолекулярного окружения группы [1]. При этом обеспечиваются точные сведения о строении соединений, поскольку по частоте, при которой идет поглощение инфракрасного излучения, положению и интенсивности полосы поглощения можно судить о наличии определенной молекулярной

группировки.

Особенно важным становится этот метод при расшифровке новообразований аморфной структуры, которая характерна для модифицированной магнезиальной матрицы, т. к. в рентгеновских спектрах аморфная структура просматривается в виде «горбушки».

Анализ материалов методом инфракрасной спектроскопии проводится на ИК-Фурье микроспектрометре «PERKIN ELMER» в области частот $4000 \div 650 \text{ см}^{-1}$ в проходящем свете. Материалы перед исследованием подвергали измельчению в тонкодисперсный порошок. Навески массой 0,8 мг смешивали с 250 мг бромистого калия марки ч. д. а. (чистый для анализа) и подвергали совместному прессованию под давлением 5 МПа при вакууме 10^{-7} Па. Полученные образцы помещали в микроювету. Степень поглощения инфракрасного излучения исследуемыми веществами оценивали по 100 % шкале. Исследуемые модифицированные магнезиальные композиции имеют сложный состав, химические реакции в котором при гидратации и твердении накладываются друг на друга.

Взаимодействие между составляющими композиций были установлены с помощью дифференциального дериватографа Q – 1500Д. В процессе анализа регистрировали 4 параметра: кривую подъема температуры образца (Т); изменения массы образца (термогравиметрическую кривую – ТГ); изменение энтальпии (дифференциально-термогравиметрическую кривую – ДТГ). Скорость подъема температуры на дериватографе регулировалась программным устройством и составляла $10^\circ\text{C}/\text{мин}$, максимальная температура при анализе $T = 1000^\circ\text{C}$, масса навески менялась в зависимости от цели и назначения исследования в пределах от 330 до 450 мг. Чувствительность ТГ – 200 мг, ДТА и ДТГ – 500 МкВ. Использовались закрытые платиновые тигли. Регистрация результатов исследований производилась на миллиметровой бумаге.

Исследование микроструктуры композиций производилась на растровом электронном микроскопе ISM JC 25S формы «IEOL», на «РЕМКО» и «Stereoscan S4-10». Исследовались свежие поверхности сколов образцов. Для устранения эффекта «задержки» поверхности подвергали напылению в вакууме токопроводящим слоем алюминия или углерода при токе 100 А. Анализ микроструктуры проводился при ускоряющем напряжении 25 KV, изображение формировалось в режиме вторичных электронов. Регистрация исследуемой микроструктуры образцов проводилась фотографическим способом.

Основной задачей являлось изучение динамики изменения морфологии новообразований в зависимости от изменения состава композиций, условий и времени их твердения. При изучении микроструктуры, в зависимости от рельефа и поставленных целей исследований, использовали увеличение от 300 до 8000 крат.

Задачи, решаемые при исследовании структуры на РЭМ: изучение морфологии новых фаз; определение линейных размеров новообразований (при микроанализе); выявление изменений структуры новообразований в процессе гидратации, схватывания и твердения составляющих композиций и вследствие других химических взаимодействий; сопоставление поверхности новых фаз с данными рентгенофазового анализа; определение структуры новообразований (кристалличность, аморфность).

Для определения прочностных характеристик исследуемых составов изготавливались образцы-кубы $20 \times 20 \times 20$ мм, $70 \times 70 \times 70$ мм, $100 \times 100 \times 100$ мм и образцы-балочки размерами $40 \times 40 \times 160$ мм.

Распалубка образцов проводилась через 24 часа от момента формования. До времени испытания образцы хранились при $t = 20^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 65 %. Испытания производились, при необходимости, в возрасте 10 часов, 1, 7 и 28 суток. При определении предела прочности при изгибе испытывались балочки $40 \times 40 \times 160$ мм с помощью испытательной машины на изгиб 2035 П-0,5, а предел прочности при сжатии половинок балочек определялся на испытательных прессах П-2,5т; П-5т; П-10т. Предел прочности при сжатии образцов-кубов производился на прессах П-20, П-50 и П-125.

Прочность магнезитобетона на осевое растяжение, согласно ГОСТ 10180-78, определяли испытанием образцов-восьмерок (двухавров), изготовленных в специальных формах. Прочность бетона на осевое растяжение $R_{\text{растяж}}$, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$) для каждого базового образца с рабочим сечением 200×200 мм вычисляют по формуле:

$$R_{\text{растяж}} = P_p / F, \quad (1)$$

где: p – разрушающая нагрузка, Н(кгс);

F – средняя площадь рабочего сечения, м^2 , (см^2).

При испытании образцов-восьмерок (двутавров) других размеров в приведенную выше формулу вводится коэффициент β :

$$R_p = \beta \cdot P_p / F, \quad (2)$$

где: β для образцов-восьмерок (двутавров) с рабочим сечением размером 100×100 мм, принимают 1,05.

Прочность при растяжении определялась на модифицированной машине АИМА-5-2. Сопротивление удару определяли, используя метод маятника при максимальной его энергии 12,5 Дж на машине типа «Изод».

Определение прочности сцепления с основанием (адгезионной прочности) производилась в соответствии с ГОСТ 28574-92. Испытуемое покрытие на основе магнезиальной композиции наносится толщиной 10 мм на обезжиренную поверхность куба $100 \times 100 \times 100$ мм, изготовленного из тяжелого бетона в возрасте 28 суток. Время твердения покрытия в воздушно-сухих условиях 28 суток, после чего на покрытие с помощью эпоксидного клея марки ЭДП наклеивали металлические пластинки размером $50 \times 50 \times 10$ мм. Через сутки определяли адгезионную прочность на приборе ПСО-МГ4 (рис. 2).

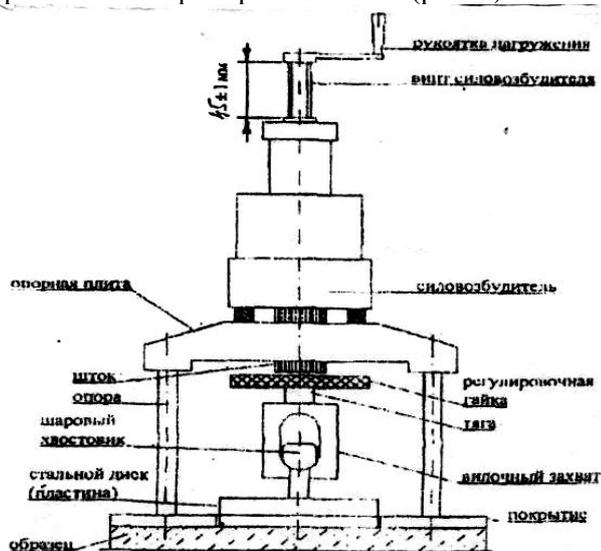


Рис. 2. Схема прибора ПСО-МГ4 для испытания на отрыв керамической плитки, штукатурки защитных покрытий

При проведении испытаний по схеме, приведенной на рисунке 2 [10], необходимо вернуть в отверстие штока тягу с вилочным захватом и установить прибор (силовозбудитель) на образцах, совмещая ось тяги с осью пластины, приклеенной на образец. Вращая регулировочную гайку, совместить паз вилочного захвата с шаровым хвостовиком приклеенной пластины и завести на хвостовик. Выбрать зазоры соединений вращением регулировочной гайки. При включении кнопки «Ввод» производится автоподстройка прибора.

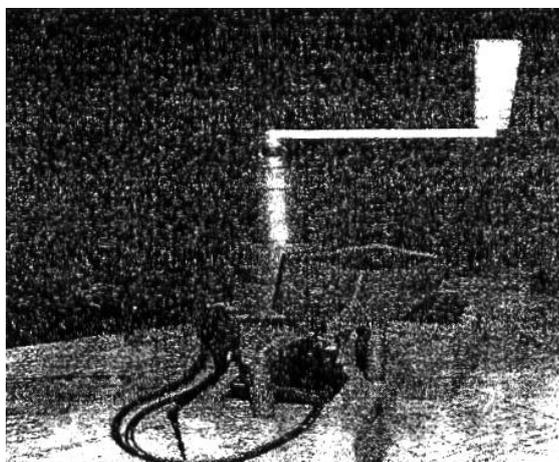


Рис. 3. Общий вид прибора для измерения адгезионной прочности отделочных покрытий

Равномерно вращая рукоятку нагружения по часовой стрелке, производим нагружение образца до отрыва пластины и фиксируем текущую нагрузку P в кН и тут же на показывающем приборе определяем предел прочности при сцеплении с основанием.

Результаты определения адгезионной прочности заносятся в таблицу в соответствии с нормативными документами и затем эти показатели оцениваются.

Выводы. Задачи, решаемые при проведении экспериментальных исследований, имеют следующие цели: подтверждение разработанных теоретических положений, получение дополнительных сведений. В лаборатории строительных материалов кафедры ТСМИК ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» разрабатываются технические условия по получению магниезиальных вяжущих строительного назначения, растворов и бетонов на их основе.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас инфракрасных спектров / Под ред. В. В. Печковского. – М. : Наука. 1981. – 248 с.
2. **Вайновад А. Я.** Магнезиальные вяжущие вещества. – Рига : Зинатие, 1971. – 543 с.
3. **Горошков В. С., Тимашев В. В., Савельев В. Г.** Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / Учеб. пособ. – М. : Высшая школа, 1981. – 335 с.
4. **Данилов В. В.** Кислотно-основный аспект гидратации цементом // Твердение цемента: Тез. докл. и сообщ. Всесоюз совещания. – Уфа, 1974. – С. 36 – 39.
5. **Зинюк О. Ю.** ИК-спектроскопия в неорганической технологии. – Л. : Химия, Ленинградское отделение, 1983. – 111 с.
6. Измеритель прочности сцепления (адгезии) облицовочных и защитных покрытий ПСО – 2,5; 5; 10 МГ4. Руководство по эксплуатации. Челябинск : ООО СКВ «Стройприбор», 2006. – 4 с.
7. **Кесслер И.** Методы инфракрасной спектроскопии в химическом анализе. – М. : Наука. 1964. – 224 с.
8. **Колбасов В. М., Леонов И. И., Сулименко Л. М.** Технология вяжущих материалов – М. : Стройиздат, 1987. – 432 с.
9. **Крамар Л. Я.** О требованиях стандарта к магниезиальному вяжущему строительного назначения. Строительные материалы, 2006. – № 1. – С. 54 – 56.
10. **Логвиненко А. Г., Савинкина М. А.** Процессы гидратации вяжущих материалов, подвергнутых механической активации // Гидратация и твердение вяжущих: Тез. докл. и сообщ. Всесоюз. совещания. – Уфа, 1978. – С. 319 – 320.

УДК.621.242:621.891

ОБ ОБОБЩЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЯХ ГРАНИЦ ПОЛУЖИДКОСТНОЙ СМАЗКИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ РАБОЧЕЙ КОНИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОМПРЕССИОННОГО КОЛЬЦА ДВС

В. Г. Заренбин, д. т. н., проф.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, коническое поршневое кольцо, полужидкостная смазка

Постановка проблемы. Знание границ полужидкостной (смешанной) смазки является необходимым условием для количественного изучения процессов трения и смазки, расчета на заедание трибосопряжения гильза цилиндра (ГЦ) – поршневое кольцо (ПК) двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Наличие зон полужидкостной (ПЖ) смазки в цилиндре ДВС при движении ПК, особенно в районе мертвых точек, подтверждается многочисленными теоретическими и экспериментальными исследованиями [1 – 6]. Как правило, теоретически решается макрогидродинамическая задача смазки применительно к одному ПК с введением тех или иных упрощающих допущений. Так, в работах [1 – 4] приводится расчетно-теоретическое обоснование выбора параметров ПК, определяющих толщину масляной пленки, силу трения и пропуск масла. Также показано, что, не уменьшая общности рассуждений, с достаточной точностью можно рассматривать профиль рабочей поверхности ПК в виде двух наклонных прямых линий [1].

Между тем вопросы влияния на эти процессы остальных ПК и объемов межкольцевых