

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

В.И. Калашников, М.О. Коровкин

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Рекомендовано Редсоветом университета в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по направлению 270800.62 (бакалавриат)
и 270800.68 (магистратура) «Строительство»
и по специальности 270106 «Производство строительных материалов,
изделий и конструкций»

Пенза 2013

УДК 691.5.58 (075.8)

ББК 38.3 я 73

К89

Рецензенты: кандидат технических наук, профессор кафедры «Техническое управление качеством», проректор по непрерывному образованию Пензенской ГТА В.А. Худяков;
кандидат технических наук, доцент кафедры «Стандартизация, сертификация и аудит качества» Пензенского ГУАС Л.В. Макарова

Калашников В.И.

К89 Методы исследования свойств вяжущих материалов: учеб. пособие / В.И. Калашников, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 100 с.

Изложены методические основы исследования свойств вяжущих веществ. Приведены рекомендации по использованию количественных и качественных критериев комплексной оценки свойств вяжущих материалов для корректировки технологических режимов и рецептурных составов. Особое внимание уделено изучению возможности применения отходов промышленности в технологии вяжущих веществ, а также строительных изделий и конструкций на их основе.

Учебное пособие подготовлено на кафедре технологии строительных материалов и деревообработки и предназначено для использования студентами, обучающимися по направлению 270800.62 (бакалавриат) и 270800.68 (магистратура) «Строительство» и по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», при выполнении практических и лабораторных работ.

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2013

© Калашников В.И., Коровкин М.О., 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторные исследования свойств вяжущих веществ строительного назначения – важнейший компонент обеспечения качественного и рентабельного строительства, что обусловлено изменчивостью свойств сырьевых материалов и, соответственно, свойствами готовой продукции. Специалисты-строители хорошо знают, что технологические свойства цементов, произведенных на разных заводах, могут существенно различаться, несмотря на то что вяжущие относят к одной марке цемента.

Умение правильно организовать входной лабораторный контроль поступающих на предприятие цемента, гипса, извести и других видов вяжущих позволяет специалистам более эффективно наладить технологический процесс производства строительных материалов, изделий и конструкций.

Владение как стандартными, так и факультативными методами исследования технологических и эксплуатационных свойств вяжущих материалов позволяет специалистам предприятий по производству строительных изделий и конструкций **эффективно использовать** колебания этих свойств, корректируя рецептурные составы и технологические режимы.

В учебном пособии приводятся стандартизированные и упрощенные методы определения главных и специфических свойств вяжущих материалов различных видов и назначения, а также некоторых видов сырья, используемого в технологии широко распространенных вяжущих.

Лабораторные работы дополняют теоретический курс и являются важной составной частью вузовской подготовки специалистов-практиков. Они дают будущим технологам более полное представление о физико-химических процессах, протекающих при производстве и твердении вяжущих веществ, эксплуатации изделий на их основе.

Учебное пособие содержит описание стандартных методов испытания вяжущих веществ в минимальном объеме. Для ознакомления с ними студенты должны самостоятельно изучить соответствующую нормативную литературу.

Значительная часть лабораторных работ носит исследовательский характер, при их выполнении студенты учатся решать небольшие научно-исследовательские задачи и определяют технологические факторы, влияющие на свойства готовых изделий с учетом технико-

экономического аспекта их производства. Таким образом, учебный процесс сочетается с исследовательской работой студентов.

При написании учебного пособия авторы использовали большой опыт организации и проведения лабораторных исследований, накопленный в вузах России и стран СНГ.

С учетом того, что учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 270800.62 (бакалавриат) и 270800.68 (магистратура) «Строительство» и по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», при его подготовке авторы учитывали требования образовательных стандартов двух поколений: Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования второго поколения и Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

ВВЕДЕНИЕ

Вяжущими называют минеральные порошкообразные материалы, которые при затворении водой образуют пластичное тесто, способное со временем затвердевать и образовывать камнеподобное тело.

Эти материалы являются одними из ключевых элементов в технологиях современного строительства. Достаточно сказать, что разработка, совершенствование и налаживание широкого промышленного производства основного вяжущего современности – портландцемента – обеспечивает выпуск доминирующего в современном строительстве конструктивного материала – железобетона.

Вяжущие материалы использовались еще в строительной практике государств древнего мира. Наиболее известны достижения в применении этих материалов в строительстве Древнего Рима. Некоторые здания и сооружения, построенные древнеримскими строителями из «римского бетона», сохранились до наших дней. Современные исследования позволяют предположить, что строительство некоторых древнеегипетских сооружений, включая пирамиды, было выполнено с применением вяжущих, которые в настоящее время называют геополимерными.

Отличительной особенностью минеральных вяжущих является минимальная глубина переработки сырья и простота технологии. Эта особенность характерна для большинства строительных материалов, что связано с колоссальной материалоемкостью строительства, которое, по существу, направлено на преобразование природной среды обитания человека. И хотя эти преобразования носят локализованный характер и сосредоточены в городах или менее крупных населенных пунктах, а также на транспортных путях, объемы изъятия материалов из природной среды для строительной индустрии и затраты энергии на переработку сопоставимы с геологическими процессами. В связи с этим оптимизация технологии использования вяжущих строительного назначения имеет большое экономическое и экологическое значение.

Особую роль в развитии технологии производства и использования вяжущих играют разработка новых и совершенствование известных технологий применения вяжущих на основе многотоннажных промышленных отходов: металлургических и топливных шлаков, золошлаковых отходов тепловых электростанций. Объемы использования этих материалов в строительстве промышленно развитых стран очень велики, что связано с высоким научно-техническим уровнем строительной индустрии в этих странах. В России, имеющей большие запасы

полезных ископаемых, промышленность строительных материалов ориентирована в основном на использование природного сырья, однако со временем научно-технический прогресс позволит применять промышленные отходы в технологии строительных материалов.

Наиболее перспективным направлением совершенствования энерго- и ресурсосберегающих технологий вяжущих является производство вяжущих щелочной активации на основе шлаков и зол тепловых электростанций. Эти технологии в полной мере соответствуют современной концепции жизнеподдерживающего развития человечества. Понимание процессов, протекающих при производстве, твердении и эксплуатации вяжущих и материалов на их основе, а также умение правильно организовать лабораторный контроль свойств вяжущих позволяют технологам предприятий оптимизировать производственные процессы.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВАХ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Вяжущими веществами называют порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой или растворами солей, щелочей и кислот образуют пластическую массу, которая постепенно затвердевая превращается в камневидное тело.

Исследовано большое число вяжущих веществ, однако в промышленных масштабах используется лишь их незначительная часть. Целесообразность применения вяжущего материала в строительстве определяется наличием достаточных запасов сырьевых материалов, технологичностью и экономичностью производства, а также их технико-строительными характеристиками.

Классификация строительных вяжущих

Применяемые в строительстве неорганические вяжущие материалы, делятся на две группы:

1) *воздушные вяжущие*, твердеющие и сохраняющие прочность на воздухе;

2) *гидравлические вяжущие*, твердеющие во влажных условиях сохраняющие прочность на воздухе.

К воздушным вяжущим относятся:

- известь воздушная (гашеная и молотая негашеная);
- гипсовые вяжущие (гипс строительный, гипс высокопрочный, эстрихгипс, цемент ангидритовый);
- магнезиальные вяжущие (каустический магнезит и доломит);
- жидкое стекло.

К гидравлическим вяжущим относятся:

- портландцемент и его разновидности (быстротвердеющий, сульфатостойкий, белый, пуццолановый, шлакопортландцемент и др.)
- шлакощелочные цементы и другие бесклинкерные вяжущие;
- вяжущие автоклавного твердения (известково-кремнеземистые, известково-нефелиновые, бесклинкерные шлаковые и др.).
- известь гидравлическая;
- романцемент.

Последние два вида вяжущих в современном строительстве практически не используются.

Механизм твердения вяжущих

Несмотря на значительные успехи в исследованиях вяжущих, ученые не пришли к единому мнению о механизме их твердения. Рассмотрим некоторые общие закономерности структурообразования.

В твердении вяжущего можно выделить два процесса:

- 1) гидратацию, то есть взаимодействие вяжущего вещества с водой;
- 2) образование и развитие структуры материала, обуславливающей его прочность.

Исследования большого числа различных вяжущих позволили установить, что для твердения жидкость затворения должна быть полярной, а образующиеся фазы должны содержать полярные группы – аквакомплексы, сольватоккомплексы.

Анализ существующих вяжущих систем показал, что новообразования в них представлены гидратами – гидросиликатами, гидроалюминатами, гидрофосфатами, гидрооксихлоридами. Установлено, что если жидкостью затворения является раствор кислоты или щелочи, то и в этом случае связывается растворитель – вода, которая образует аквакомплексы. Продуктами твердения всегда являются гидраты или гидроокиси.

Твердение вяжущих происходит, если для отношения вяжущего к воде $T/Ж$ выполняется условие

$$a < T/Ж < b,$$

условие $a < T/Ж$ обеспечивается созданием «стесненных условий», необходимых для того, чтобы продукты реакции находились в контакте и образующиеся кристаллы срастались.

Условие $T/Ж < b$ является технологическим – обеспечивает удобоукладываемость, то есть способность формования изделия на основе вяжущего. Для литых технологий $V/Ц > 0,5$, для виброукладки $V/Ц > 0,4$, для прессования $V/Ц > 0,1$.

Первая теория твердения вяжущих веществ была предложена *Ле Шателье* в 1887 году. В соответствии с этой теорией вяжущее, реагируя с водой, превращается в химическое вещество со свойствами, коренным образом отличающимися от свойств вяжущего. Исходное вещество обладает большей, чем продукты реакции, растворимостью. Химический процесс гидратации происходит на поверхности исходного материала. Продукты этой реакции в виде отдельных ионов и их гидратов переходят немедленно в раствор, пересыщенный по отношению к новообразованиям. Продукты гидратации выпадают из

раствора в виде мельчайших кристалликов – зародышей новой фазы (коагуляционные контакты коллоидной фазы).

Согласно теории *В. Михаэлиса* в результате проникновения молекул воды в поверхностные слои вяжущего вещества образуется коллоидная масса из мельчайших частиц гидрата, которые в дальнейшем укрупняются и срастаются в результате процессов перекристаллизации.

А.А. Байков для описания механизма твердения предложил следующие схемы гидратации. В первые минуты после затворения вяжущего оно растворяется, по *Ле Шателье*. Однако после достижения концентрации насыщения процесс растворения прекращается, и в дальнейшем гидратация протекает в результате прямого присоединения воды к зернам вяжущего. Эти представления получили название топохимических.

В соответствии с воззрениями *П.А. Ребиндера*, который развивал со своими сотрудниками теорию *Ле Шателье*, вначале возникают прочностные кристаллизационные контакты срастания. Места непосредственного срастания беспорядочно расположенных кристалликов обладают искаженной кристаллической решеткой, являются термодинамически неравновесными, что определяет их повышенную растворимость по сравнению с правильно сформировавшимися крупными кристаллами тех же соединений. Поэтому в условиях влажного хранения при сохранении водной среды в порах структуры твердения после окончания гидратации развивается процесс перекристаллизации. Этот процесс выражается в растворении кристаллизационных контактов и росте правильно сформированных свободных кристаллов.

Развитие структуры, в соответствии с теорией *Ребиндера*, происходит в два этапа. В течение первого этапа формируются кристаллизационные структуры с образованием контактных сrostков между новообразованиями. В течение второго этапа новые кристаллизационные контакты не возникают, происходит только обрастание уже имеющегося каркаса, что, с одной стороны, приводит к повышению прочности структуры, а с другой стороны, является причиной внутренних напряжений, которые снижают прочность структуры твердения, так как частично разрушают структуру твердения на наиболее слабых участках.

Конечная прочность структуры, в соответствии с теорией *Ребиндера*, определяется величиной и кинетикой пресыщения в жидкой фазе твердеющей суспензии, скоростью твердения.

Имеются экспериментальные данные, свидетельствующие о значительном вкладе в прочность вяжущих физических сил сцепления между мельчайшими частицами, возникающими при гидратации. Большое значение при этом имеет вода, находящаяся на поверхности этих частиц в адсорбированном, «пленочном» состоянии. Роль этого фактора в образовании структуры цементного камня была показана в опытах В.А. Лащенко, который предварительно гидратировал цемент в суспензии при высоком водоцементном отношении (для предотвращения взаимодействия между частицами вяжущего и продуктами их гидратации). Затем из суспензии отфильтровывалась вода, и полученная рыхлая масса прессовалась при давлении 100 МПа. Образцы после прессования имели достаточно высокую «мгновенную» прочность и при помещении в воду продолжали интенсивно твердеть. Возникновение «мгновенных» структур и их дальнейшее упрочнение обусловлены негидратационными процессами.

Контрольные вопросы

1. Что называют вяжущими веществами?
2. Какие факторы определяют целесообразность применения того или иного вяжущего в строительстве?
3. На какие группы делятся строительные вяжущие? В чем их принципиальное различие?
4. Какие процессы и условия определяют твердение вяжущих?
5. Назовите основные положения теории твердения Ле Шателье.
6. Как происходит твердение в соответствии с теорией В. Михаэлиса?
7. Какие схемы для описания гидратации и твердения использовал А.А. Байков?
8. Какие процессы происходят при твердении вяжущих в соответствии со взглядами П.А. Ребиндера?

2. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Воздушные вяжущие вещества при затворении водой твердеют в воздушно-сухой среде. При насыщении водой изделий, изготовленных на воздушных вяжущих, происходит значительная потеря их прочности, а при циклическом насыщении и высушивании – разрушение. Как уже отмечалось, к воздушным вяжущим относятся воздушная известь, а также гипсовые и магнезиальные вяжущие.

Низкая водостойкость уменьшает область применения воздушных вяжущих, однако они обладают рядом ценных свойств.

2.1. Гипсовые вяжущие

Гипсовые вяжущие получают на основе термической обработки природного гипсового камня, основным веществом которого является двуводный сульфат кальция CaSO_4 . В строительстве применяются различные виды гипсовых вяжущих на основе полуводных и безводных сульфатов кальция. Однако наиболее распространен β $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, который принято называть строительным гипсом. Другие виды гипсовых вяжущих (ангидритовое вяжущее, ангидритовый отделочный цемент, безобжиговый гипсовый цемент, технический гипс) имеют ограниченное применение и используются только в особых случаях.

Строительный гипс получают при обжиге гипсового камня при температуре 140...180 °С в условиях атмосферного давления. Продуктом этого обжига является β -полугидрат, состоящий из более мелких кристаллов, в связи с чем необходим более высокий расход воды для получения равной с α -полугидратом консистенции. Мелкая кристаллическая структура строительного гипса является причиной его более высокой водопотребности и низкой прочности в сравнении с техническим гипсом, который получают на основе α -полугидрата. Однако технология α -полугидрата более сложна и затратна; поэтому с экономической точки зрения применение β -полугидрата в строительстве более оправданно.

Ангидритовое вяжущее получают путем помола нерастворимого ангидрита с катализаторами твердения, в качестве которых используют сульфаты натрия, калия, железа в количестве 0,5...2 %, а также известь (2...3 %) , обожженный доломит (5...8 %) и доменный шлак (10...15 %). Обжиг этого вяжущего вводится при температуре 600...750 °С. Повышение температуры приводит к снижению прочности за счет про-

дуктов свободной извести. Твердение вяжущего происходит в результате гидратации нерастворимого ангидрита и его перекристаллизации с образованием на начальной стадии двухводного коллоидного гипса и на последующей – кристаллического двухводного гипса.

Ангидритовый отделочный цемент получают одно- или двукратным обжигом гипсового камня с активатором твердения при температуре 600...700 °С. Сырье для производства этой разновидности гипсового вяжущего должно содержать не более 1,5 % примесей и менее 0,05 % Fe_2O_3 (который снижает белизну вяжущего). В качестве активатора твердения применяют алюмокалиевые квасцы или буру, растворами которых сырье пропитывают перед обжигом. Помол этого вида вяжущего производят в фарфоровых или других мельницах, исключающих попадание в готовый продукт примесей, снижающих его белизну. Измельчение ведут до остатка на сите № 008 5...10 %.

Ангидритовый отделочный цемент используется для производства отделочных растворов, архитектурных деталей и элементов декора.

Высокообжиговый ангидритовый цемент (эстрихгипс) получают обжигом гипсового камня при температуре 800...1000 °С. При такой температуре гипс обезвоживается, а некоторое количество сульфата кальция разлагается, образуя 2...4 % CaO , который служит катализатором твердения. Более высококачественный эстрихгипс получается, если в сырье содержится 3...4 % карбонатной примеси и 5...7 % глинистой примеси.

Эта разновидность высокообжигового гипса отличается более высокой водо- и морозостойкостью за счет повышенной плотности и пониженной водонепроницаемости. Эстрихгипс характеризуется повышенной стойкостью к истиранию и используется при производстве бесшовных полов.

Безобжиговый гипсовый цемент получают путем тонкого помола природного гипсового камня. Его твердение происходит в результате перекристаллизации гипса и возникновения кристаллизационных структур, обеспечивающих значительную прочность. При твердении наблюдается усадка от 2 до 4 %. Водопотребность этого вяжущего составляет около 20 %.

Для ускорения твердения вводят NaHSO_4 , Na_2SO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Сырье для гипсовых вяжущих

В соответствии с ГОСТ 4013–82 гипсовое сырье в зависимости от содержания $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ делится на 4 сорта. Сырье 1 сорта должно содержать не менее 95 % двуводного сульфата кальция, сырье 2, 3 и 4 сортов – 90, 80 и 70 %, соответственно. В сырье могут содержаться глинистые примеси: песок, глина, известняк.

Сырьем для производства гипсовых вяжущих служит гипсовый камень и $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а иногда гипсосодержащие отходы – фосфогипс, борогипс и т.д. Для некоторых видов гипсовых вяжущих используют ангидрит – безводный сульфат кальция. Природный гипс (гипсовый камень) – белый минерал, часто окрашенный примесями в серый, красноватый или желтоватый цвет. В природе встречается несколько разновидностей гипса (рис. 1): плотный мелкозернистый материал алебастр, по внешнему виду напоминающий мрамор (рис. 1, а); селенит – волокнистый минерал, состоящий из нитевидных кристаллов, имеющих шелковистый отлив, и гипсовый шпат – пластинчатый минерал с плоскими, полупрозрачными кристаллами (рис. 1, б).

а

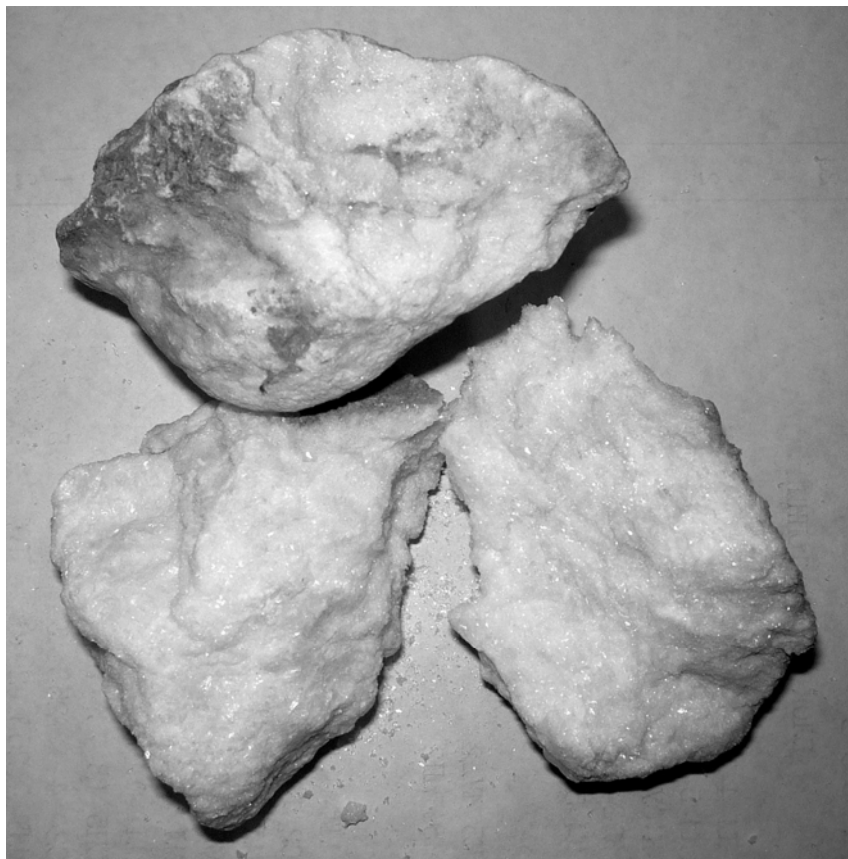


Рис. 1. Минералогические разновидности гипса (начало):
а – алебастр

б

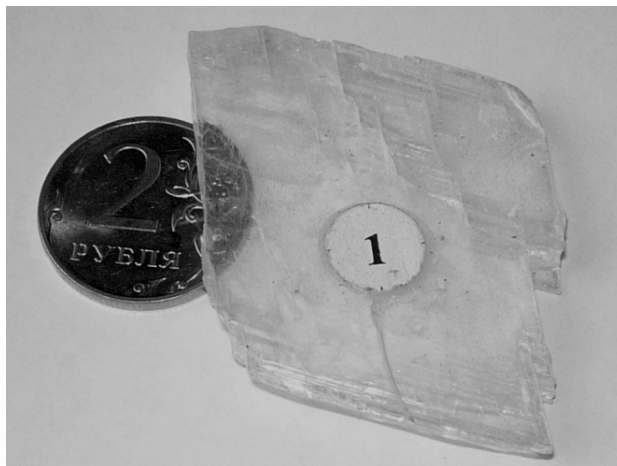


Рис. 1. Минералогические разновидности гипса (окончание):

б – гипсовый шпат

Реже в природе встречается безводная разновидность сульфата кальция – ангидрит. Гипс относится к осадочным хемогенным породам, которые образовались при высыхании соленых озер. Кроме природного сырья, для производства можно использовать техногенные продукты, наиболее важное значение из которых имеет фосфогипс, образующийся при переработке природных фосфоритов в фосфорную кислоту и фосфорные удобрения. Однако современные технологии пока не позволяют получать гипсовое вяжущее приемлемого качества на основе этих отходов.

Дегидратация двуводного гипса

Химически связанная вода природного гипса начинает выделяться из кристаллической решетки уже при 60 °С. Однако этот процесс идет очень медленно. Общепринятым считается схема превращения гипса при нагревании (рис. 2). При нагревании природного гипса при атмосферном давлении происходит выделение воды при 107 °С. При этом образуется β-полугидрат. Выход воды приводит к разрушению зерен; поэтому эта форма гипса характеризуется высокой дисперсностью и водопотребностью. В автоклаве или в растворе при температуре 105 °С $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ превращается в α-полугидрат. Вода в этих условиях удаляется в жидком состоянии без разрушения зерен. Крупнокристаллическое состояние α-полугидрата является причиной меньшей водопотребности и большей прочности. При температуре 180...200 °С полугидраты обезвоживаются, и при этом не происходит перестройки кристаллической решетки. Обезвоженные полугидраты характеризуются высокой гигроскопичностью и быстро переходят в полугидраты.

При нагревании обезвоженных α - и β -полугидратов до температуры 200 и 300 °С соответственно они переходят в растворимые α - и β -ангидриты с перестройкой кристаллической решетки. При дальнейшем нагревании (см. рис. 2) образуется нерастворимый ангидрит. При температуре более 800 °С сульфат кальция начинает разлагаться на CaO и SO₃. Такой материал называется эстрихгипс.

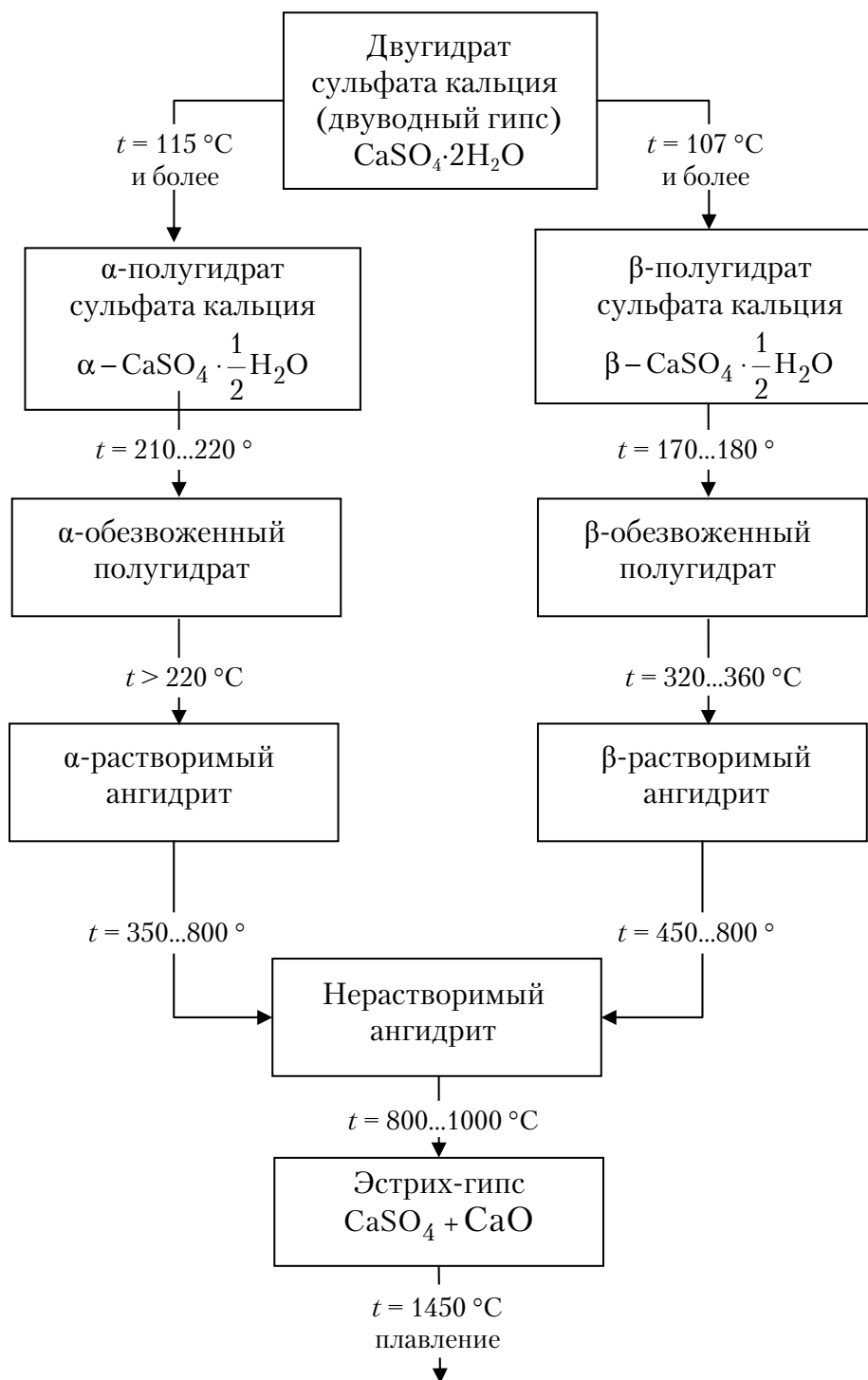


Рис. 2. Схема условий образования модификаций водного и безводного сульфата кальция

Технология получения строительного гипса

Гипсовое вяжущее можно получать различными способами, сущность которых состоит в том, что сырье (в виде мелкой щебенки или порошка) первоначально подвергают тепловой обработке, при которой из двуводного гипса выделяется кристаллизационная вода в капельно-жидком состоянии и он переходит в α -полугидрат, имеющий вид крупных плотных кристаллов. Затем полученный материал сушат в условиях, исключающих возможность гидратации полугидрата, после чего его измельчают.

Тепловая обработка двуводного гипса с получением α -полугидрата может осуществляться в автоклавах в среде насыщенного пара при давлении 0,15...0,3 МПа и в водных растворах некоторых солей при атмосферном давлении и температуре 105...110 °С.

Автоклавные способы, в свою очередь, разделяют на такие, при которых обезвоживание осуществляют в автоклаве, а сушку продукта – в специальном аппарате или же обезвоживание и сушку проводят в одном аппарате.

Производство строительного гипса из плотной гипсовой породы состоит из трех главных операций: дробления гипсового камня, помола и обжига материала. Основные способы производства строительного гипса, применяемые в настоящее время, можно разделить на следующие три группы, характеризующиеся: предварительной сушкой и измельчением сырья в порошок с последующей дегидратацией гипса (обжиг гипса в гипсоварочных котлах); совмещением операций сушки, помола и обжига двуводного гипса; обжигом гипса в виде кусков различных размеров в шахтных, вращающихся, камерных и других печах. Полугидрат в порошок измельчают после обжига.

Помол влажного двуводного гипса затруднителен; поэтому на современных заводах эту операцию совмещают обычно с сушкой гипса. Шахтная мельница состоит из камеры измельчения, вала, ротора с билами и шахты высотой 12...15 м. Била шарнирно соединяются с билодержателями, которые, в свою очередь, шарнирно крепятся к диску ротора. Гипсовый камень в виде щебня размером до 3...4 см подается тарельчатым питателем через течку в верхнюю часть камеры измельчения на быстровращающиеся била. Для повышения износостойчивости била наплавляют твердыми сплавами слоем толщиной 5...8 мм.

После выхода из мельниц газопылевую смесь направляют в систему пылеочистительных устройств, в которых из газового потока осаждается гипсовый порошок. От эффективности работы пылеосади-

тельных устройств в значительной мере зависят санитарные условия на заводе и на прилегающей к нему территории, а также производственные потери. Поэтому на современных гипсовых заводах устанавливаются многоступенчатые системы очистки. На первой ступени улавливаются крупные частицы, на второй – осаждаются тонкие фракции и, наконец, на последней ступени газы очищаются от мельчайших частиц.

Способ самозапаривания отличается от предыдущих тем, что предусматривает создание избыточного давления в запарниках в результате испарения из гипсового камня гигроскопической части гидратной воды. Для этой цели были разработаны два типа самозапарников (вертикальный и вращающийся горизонтальный).

Свойства гипсовых вяжущих

Различные виды полуводного гипса по своим основным свойствам во многом схожи. Главное различие состоит преимущественно в показателях прочности. Истинная плотность разновидностей полуводного гипса колеблется в пределах 2,6...2,75 г/см³. Насыпная плотность в рыхлом состоянии обычно составляет 800...1100, в уплотненном – 1250...1450 кг/м³.

Дисперсность гипсовых вяжущих, зависящая от степени измельчения при помоле и влияющая на водопотребность материала, прочность и некоторые другие свойства, оценивается по остатку на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм (в % по массе от просеиваемой пробы). При этом различают: грубый помол (индекс I), остаток на сите не более 23 %; средний помол (индекс II) – 14 %; тонкий помол (индекс III) – 2 %.

Водопотребность. Теоретически для гидратации полуводного гипса с образованием двуводного необходимо 18,6 % воды по массе вяжущего вещества. Практически же для получения теста стандартной консистенции по ГОСТ 23789–79 (нормальная густота) для β-полугидрата требуется 50...70 % воды, а для α-полугидрата – 35...45 %. Стандартной консистенции соответствует расплав массы до диаметра (180±5) мм.

Затвердевший гипс представляет собой твердое тело с высокой пористостью, достигающей 40...60 % и более. Естественно, что с увеличением количества воды затворения пористость гипсового изделия возрастает, а прочность уменьшается.

Водопотребность гипса увеличивается с повышением степени его измельчения. Водопотребность гипса значительно снижается при введении с водой затворения замедлителей схватывания – кератинового, известково-клеяного, синтетических жирных кислот, лимонной и щавелевой кислот – в количестве до 0,1...0,3 % массы вяжущего. Использование этих добавок позволяет снизить нормальную густоту на 10...15 %. С помощью замедляющих и пластифицирующих добавок снижают нормальную густоту на 10...20 %, что повышает прочность и водостойкость гипса.

Твердение гипса

Схватывание и твердение α - и β -модификаций обусловлены переходом их при взаимодействии с водой в двугидрат в соответствии с уравнением



При гидратации гипса выделяется теплота в количестве 134 кДж на 1 кг β -полугидрата.

Исследуя твердение гипса известный французский химик А.-Л. Лавуазье в 1768 году пришел к выводу, что при гидратации гипса происходит быстрое образование мелких чешуйчатых кристаллов (рис. 3), которые переплетаясь между собой образуют прочную массу.

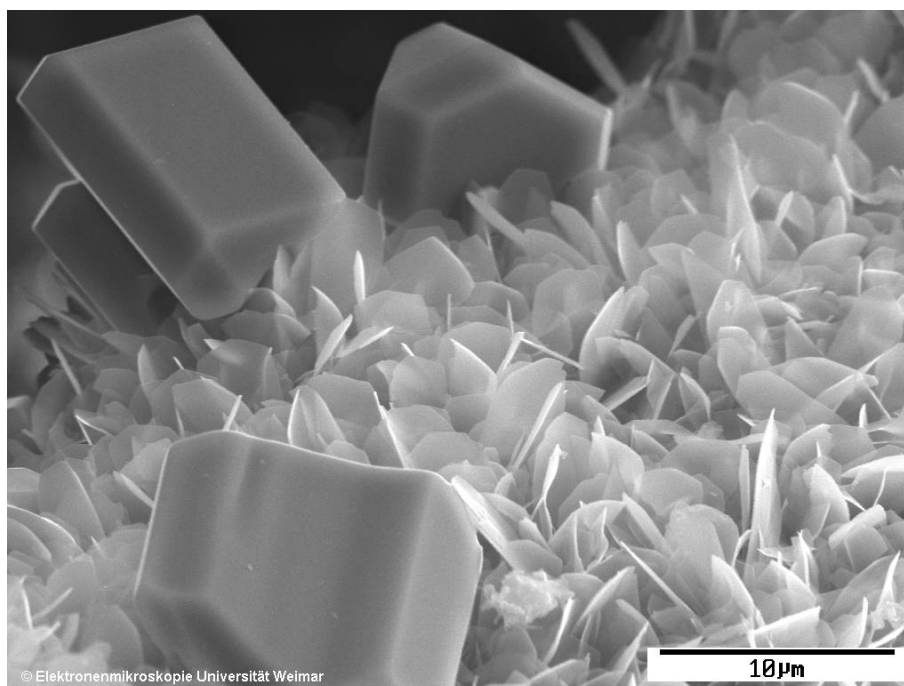


Рис. 3. Чешуйчатые кристаллы продуктов гидратации гипса

По теории А. Ле Шателье (1887 г.), при смешении с водой полуводный гипс растворяется с образованием насыщенного водного раствора. В растворе он взаимодействует с водой и переходит в двуводный сульфат кальция. Так как растворимость полугидрата в воде выше, чем растворимость двугидрата, раствор становится пересыщенным по отношению к последнему. Поэтому в жидкой фазе образуются кристаллы двуводного гипса, которые выпадают из раствора. Это создает условия для растворения новых порций полугидрата.

По мере выделения из раствора все новых и новых количеств двуводного гипса кристаллики его растут, переплетаются, срастаются и обуславливают схватывание и твердение исходной смеси гипса с водой.

Применение

Гипсовые вяжущие в основном применяют для производства гипсовой сухой штукатурки, гипсокартона, штукатурных и шпаклевочных составов для внутренних работ, стеновых камней и различных архитектурных форм. Гипсовые вяжущие могут использоваться и при изготовлении наружных гипсовых конструкций малоэтажных зданий для их защиты от увлажнения.

Гип может применяться для производства гипсоцементно-пущол новых вяжущих и изделий на их основе.

Контрольные вопросы

1. Какое сырье используется для производства гипсовых вяжущих?
2. Какие виды гипсовых вяжущих Вы знаете?
3. При каких условиях образуются α - и β -модификации полугидрата сульфата кальция?
4. Какое химическое вещество определяет свойства строительного гипса?
5. Какими характеристиками определяется качество строительного гипса?
6. Что является причиной более высокой водопотребности строительного гипса в сравнении с техническим гипсом?
7. Какие процессы протекают при твердении гипса?
8. При каких условиях получают высокообжиговые разновидности гипсовых вяжущих?

Лабораторная работа 1 ПОЛУЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

Условия получения строительного гипса существенно влияют на его свойства. Переход двуhydrата сульфата кальция в α -полугидрат происходит при атмосферном давлении в температурном интервале 107...180 °С. Из-за неравномерного нагрева сырья и нарушения температурного режима гипс после варки, кроме основного вещества β -CaSO₄·0,5H₂O, содержит недожог (CaSO₄·2H₂O) и пережог (обезвоженный полугидрат), которые ухудшают качество готового продукта.

Цель работы: изучить влияние температуры варки строительного гипса на его свойства.

Приборы и материалы:

1. Гипсовый камень.
2. Сушильный шкаф.
3. Емкость для варки гипса.
4. Термометр.
5. Вискозиметр Суттарда.
6. Прибор Вика.
7. Чаши для затворения гипса.
8. Петлевая мешалка
9. Формы размером 40×40×160 мм.
10. Пресс для испытания на сжатие.
11. Машина МИИ-100 для испытания образцов на изгиб.
12. Мерные цилиндры на 100 и 200 мл.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с ГОСТ 23789–79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.

2. Измельчить гипсовый камень с заданным содержанием CaSO₄·2H₂O в щековой дробилке, а затем (после высушивания) размолоть в шаровой мельнице до остатка на сите № 02 не более 15 %.

3. По 2 кг абсолютно сухой гипсовой муки поместить в емкость, поставить ее в сушильный шкаф, провести термообработку, периодически перемешивая при температуре 110, 150 и 180 °С в течение двух часов.

4. Взвесить гипс после парки. Определить расхождение практического выхода гипса с теоретическим.

5. Определить влияние температуры варки на свойства полученного гипса: нормальную густоту, сроки схватывания прочность на изгиб и сжатие.

6. Результаты записать в табл. 1. Сделать выводы по работе.

Т а б л и ц а 1

Зависимость свойств гипса от температуры тепловой обработки

Температура тепловой обработки, °С	Стандартная консистенция, %	Сроки схватывания, мин		Предел прочности, МПа		Выход готового продукта, %
		начало	конец	$R_{И}$	$R_{СЖ}$	
110						
150						
190						

О ф о р м л е н и е р а б о т ы :

1. Изложить порядок выполнения работы, методики испытаний с описанием и зарисовкой приборов и оборудования и требования к гипсовым вяжущим.

2. Записать реакции дегидратации гипсового камня.

3. Дать заключение о качестве полученного гипса по [1].

Контрольные вопросы

1. При какой температуре производится варка строительного гипса?

2. Напишите уравнение химических превращений при варке гипса

3. Чему равен теоретический выход гипса.

4. Чем определяется отличие практического выхода гипса от теоретического?

5. Опишите методику определения нормальной густоты гипсового теста.

6. Как определить сроки схватывания гипса?

7. Опишите методику определения прочности гипса на изгиб и сжатие.

8. В чем причина низкой прочности гипса, варка которого производилась при пониженной температуре?

Лабораторная работа 2 (с элементами НИРС) ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА

Использование химических добавок при производстве изделий и конструкций из строительного гипса позволяет в ряде случаев повысить технологичность производства и качество готовой продукции. С учетом того что номенклатура и объем промышленно выпускаемых добавок незначительны, а сами добавки дороги, при производстве строительных изделий целесообразно использовать отходы и побочные продукты промышленности.

В настоящее время теория действия химических добавок на свойства вяжущих разработана не полностью, поэтому определение их вида и дозировок производится после экспериментального исследования действия добавок на свойства гипса.

Цель работы: изучить методику исследования влияния жидких и твердых добавок (по указанию преподавателя) на водопотребность, сроки схватывания, прочностные характеристики и другие свойства строительного гипса.

П р и б о р ы и м а т е р и а л ы :

1. Гипс строительный.
2. Суперпластификатор С-3.
3. Лимонная кислота.
4. Гипс низкой водопотребности с С-3.
5. Сульфат натрия.
6. Чаши для затворения гипса.
7. Весы с разновесами.
8. Мерные цилиндры на 100 и 250 мл.
9. Вискозиметр Суттарда.
10. Прибор Вика.
11. Формы 40×40×160 мм.
12. Пресс для испытания образцов на сжатие.
13. Машина МИИ-100 для испытаний образцов на изгиб.
14. Сушильный шкаф.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Определить в соответствии с ГОСТ 23789–79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний» следующие свойства гипса с добавками и без добавок: стандартную консистенцию (нормальную густоту), сроки схватывания, прочность на изгиб и сжатие через 2 часа и после высушивания образцов до постоянной массы. Вид и дозировка добавок принимаются по заданию преподавателя.

2. Записать полученные результаты в табл. 2.

Оформление работы:

1. Изложить теорию вопроса (механизм действия добавок на свойства гипса).

2. Привести методики определения свойств строительного гипса с описанием приборов и оборудования.

3. Сделать заключение для каждой добавки о ее влиянии на свойства гипса.

Контрольные вопросы

1. С какой целью используются химические добавки в технологии строительных материалов на основе гипса?

2. Какие виды добавок используются в технологии гипсовых материалов?

3. Каков механизм действия пластифицирующих добавок на свойства гипсового теста?

4. Почему водоредуцирующие добавки при оптимальных дозировках ускоряют схватывание гипсового теста, а при повышенных – замедляют?

5. За счет чего повышается прочность гипса при использовании водоредуцирующих добавок?

6. Какие Вы знаете замедлители схватывания гипса?

7. Для каких технологий целесообразно использовать ускоритель схватывания и твердения гипса?

8. Можно ли за счет применения водоредуцирующих добавок сократить сроки схватывания и твердения гипса?

Лабораторная работа 3 (с элементами НИРС) ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА

Строительный гипс обладает ценными технологическими свойствами. Изделия на его основе имеют высокие потребительские качества. Однако у гипса есть некоторые недостатки, к числу которых относится недостаточная водостойкость, которая может быть повышена рядом технологических приемов.

Цель работы: освоить определение эффективности различных способов повышения водостойкости гипса.

Приборы и материалы:

1. Гипс строительный.
2. Добавки: ЛСТ, ГКЖ-94, стеарат цинка.
3. Чаши для затворения гипса.
4. Формы 20×20×20 мм.
5. Вискозиметр Суттарда.
6. Мерные цилиндры на 100 и 250 мл.
7. Весы лабораторные с разновесами.
8. Пресс для испытания образцов на сжатие.
9. Емкость для насыщения образцов.
10. Сушильный шкаф.

Методика и порядок выполнения лабораторной работы

1. Существует несколько способов повышения водостойкости гипса:
 - снижение пористости за счет формования изделий с более низким В/Г-отношением. При этом должны применяться интенсивные способы уплотнения гипсобетонных смесей или использоваться водоредуцирующие добавки;
 - введение в гипс небольшого количества синтетических смол, кремнийорганических соединений, которые обладают гидрофобизирующими свойствами, и адсорбируясь на поверхности кристаллов, защищают их от действия воды;
 - пропитка гипсовых изделий полимерами и гидрофобными составами;

- нанесение на поверхность покровных полимерных или красочных пленок, предотвращающих проникновение влаги в изделие;
- введение в гипс активных минеральных добавок и цемента (гипсоцементно-пуццоланового вяжущего).

Степень водостойкости гипса характеризуется коэффициентом размягчения, который определяется по формуле

$$K = R_{\text{НАС}}/R_{\text{СУХ}},$$

где $R_{\text{НАС}}$ и $R_{\text{СУХ}}$ – прочность соответственно насыщенного в воде и сухого образца.

2. Для испытаний изготавливают шесть образцов размером 20×20×20 мм каждого состава:

- пластичное гипсовое тесто с распływом по Суттарду 16...18 см;
- гипсовое тесто жесткой консистенции с распływом 5...7 см;
- гипсовое тесто жесткой консистенции с добавкой ЛСТ, С-3 или другого пластификатора (отработанного нативного раствора производства антибиотика) распływом 5...7 см;
- жесткое гипсовое тесто с добавкой синтетической смолы или кремнийорганического соединения;
- жесткое гипсовое тесто с добавкой извести, цемента и кислого шлака (ГЦПВ).

3. Из теста пластичной консистенции образцы изготавливают литьем, а из теста жесткой консистенции – с дополнительным уплотнением на виброплощадке.

4. Для испытаний берут по три образца каждого состава после высушивания (при температуре не выше 65 °С) и по три образца – после насыщения водой в течение 48 часов.

5. Определяют коэффициент размягчения образцов.

Оформление работы:

1. Изложить теорию вопроса.
2. Описать методику определения водостойкости.
3. Результаты испытания свести в табл. 3 и сделать выводы об эффективности различных методов повышения водостойкости гипса.

Таблица 3

Влияние добавок на водостойкость строительного гипса

№ п\п	Добавка (в % от массы гипса)	В/Г-отношение и распыл по Суттарду	Предел прочности, МПа		Коэффициент размягчения
			в сухом состоянии	в насы- щенном состоянии	
1	–	0,5 / 180			
2	–	0,4 / 85			
3	ЛСТ – 0,3	0,35 / 85			
4	ГКЖ-94 – 0,1	0,4 / 85			
5	Стеарат цинка	0,5 / 180			
6	Стеарат цинка	0,4 / 85			
7	Цемент – 20	0,4 / 85			
8	На поверхность образца нанесена водонепрони- цаемая пленка	0,4 / 85			

Контрольные вопросы

1. Каким показателем характеризуют водостойкость строительных материалов?
2. В чем причина низкой водостойкости гипса?
3. Как водостойкость гипса влияет на область его применения?
4. Какие существуют способы повышения водостойкости гипса?
5. Почему применение гидрофобизирующих добавок не обеспечивает значительного повышения длительной водостойкости гипсовых изделий?
6. За счет чего повышается водостойкость гипса при снижении водогипсового отношения?
7. Почему водостойкость гипсоцементно-пуццоланового вяжущего выше, чем водостойкость гипса?
8. За счет чего повышается водостойкость гипса при использовании водоредуцирующих добавок?

2.2. Известь воздушная

Известь воздушное вяжущее вещество, получаемое в результате обжига не до спекания известняка или других карбонатных горных пород.

Исходными материалами для производства воздушной извести являются некоторые разновидности известково-магнезиальных карбонатных пород (известняки, мел, доломитизированные известняки, доломиты и др.). Все они относятся к осадочным породам и широко распространены на территории нашей страны. В состав известняков входят углекислый кальций CaCO_3 и небольшое количество различных примесей (глина, кварцевый песок, доломит, пирит, гипс и др.). Теоретически карбонат кальция состоит из 56 % CaO и 44 % CO_2 .

Обжиг воздушной извести. Для обжига извести применяют печи различных типов: шахтные, вращающиеся и др. Используют также установки для обжига извести во взвешенном состоянии, в кипящем слое, на специальных решетках и т. д.

Наибольшее распространение получили шахтные печи, представляющие собой полый цилиндр, имеющий наружный стальной кожух толщиной около 10 мм и внутреннюю огнеупорную кладку, вертикально установленный на фундаменте. Эти печи характеризуются непрерывностью действия, пониженным расходом топлива и электроэнергии, а также простотой в эксплуатации.

По степени обжига различают извести мягкообожженные, среднеобожженные и сильнообожженные. Первые характеризуются отсутствием пережога и быстрой гасимостью. В сильнообожженных известях может присутствовать пережога, для них характерно замедленное гашение.

Процессы, происходящие в печи, разделяют на 3 группы: подогрев, обжиг и охлаждение.

Подогрев сырья осуществляется в верхней части печи при температуре до 850 °С. В этой зоне материал разогревается поднимающимися дымовыми газами. Обжиг происходит в средней части печи, где температура повышается от 850 до 1200 °С и затем снижается до 900 °С. Здесь происходит декарбонизация известняка, т.е. разложение на CaO и CO_2 .

В нижней части печи известь охлаждается до температуры 50...100 °С за счет поступающего снизу воздуха.

Для шахтных печей характерен низкий расход топлива.

Вращающиеся печи для обжига извести позволяют получать мягкообожженную известь высокого качества из известняка и мягких карбонатных пород (мел, туф, ракушечник) в виде мелких кусков. Вращающиеся печи допускают возможность полной механизации и автоматизации процесса обжига. Наконец, в них можно применять все виды топлива – пылевидное, твердое, жидкое и газообразное.

Расход условного топлива во вращающихся печах значителен и достигает 25...30 % массы извести, или 6700...8400 кДж на 1 кг. Недостатки вращающихся печей – большой расход металла на 1 т мощности, повышенные капиталовложения и значительный расход электроэнергии.

Для обжига извести применяют вращающиеся печи длиной 30...100 м, диаметром 2...4 м, с углом наклона 3...4° и частотой вращения 0,5...1,2 об/мин. Удельная суточная производительность их достигает 500...700 кг/м³ в расчете на полный объем обжигательного барабана. С увеличением длины печей производительность их возрастает, а расход топлива снижается.

Для уменьшения расхода топлива на обжиг извести во вращающихся печах и для утилизации теплоты газов, выходящих из печей с температурой 750...800 °С, применяют разные способы. В частности, за печами ставят нагреватели, в которые направляют предназначенный для обжига кусковой материал. Отсюда с температурой 500...800 °С он поступает во вращающуюся печь, а из нее в холодильник. При таком способе работы печи расход теплоты на обжиг снижается до 4600...5030 кДж/кг извести.

Применяют самые разные конструкции нагревателей сырья (шахтные, ступенчатые, циклонные и т.п.). Работают они за счет теплот отходящих газов. Созданы также установки, представляющие собой сочетание шахтной печи диаметром до 6...8 м с вращающейся печью диаметром около 2,5 м. При этом мелкокусковой фракционированный известняк обжигается на 80 % в шахте с применением кокса и окончательно – во вращающейся печи. Суточная производительность подобной установки достигает 400...500 т при затрате теплоты около 4200 кДж/кг.

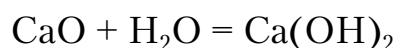
Выбор типа печи для обжига извести определяется производительностью завода, физико-механическими свойствами и химическим составом известняка, видом топлива и требуемым качеством извести.

В результате обжига получают комовую известь, которую транспортируют на склад ленточными конвейерами со стальной лентой. Комовую известь хранят в механизированных складах бункерного типа или в силосах, в которых обеспечиваются герметизация, аспирация и обеспыливание. Известь перевозят в специально оборудованных автомашинах или вагонах. При хранении и транспортировке необходимо предотвращать увлажнение извести, т.к. при этом ухудшается ее качество.

Виды воздушной извести. Комовая негашеная известь является полупродуктом. Если ее применяют в гашеном виде, то предварительно перерабатывают в гидратную известь (пушонку) или в известковое тесто.

Основная операция при получении этих видов извести – гашение, которое состоит в обработке извести водой для перевода оксидов кальция и магния в гидраты. При гашении идет самопроизвольный распад кусков извести на тонкодисперсные частички размером не более 5...20 мкм. Чем дисперснее частички гашеной извести, тем пластичнее получаемое из нее тесто и тем более ценными строительными свойствами оно обладает. Высокая пластичность (жирность) теста определяется содержанием в нем тончайших фракций гидроксида кальция и магния (0,02...0,5 мкм). В гашеной извести должны отсутствовать непогасившиеся частицы оксидов кальция и магния, которые при последующей гидратации в затвердевших растворах и бетонах могли бы отрицательно влиять на их качество. При гашении следует стремиться к полному переводу оксидов кальция и магния в их гидраты $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и получению продукта с максимальной дисперсностью частичек.

Гашеная известь (пушонка) получается в процессе взаимодействия извести с водой:



При гашении извести выделяется значительное количество теплоты, составляющее 1160 кДж на 1 кг оксида кальция. При гашении может происходить сильный разогрев, вызывающий кипение воды. Перегрев извести при гашении приводит к укрупнению частиц готового продукта. Чем выше температура гашения извести (особенно паром) в гидратную известь-пушонку, тем крупнее и прочнее образующиеся агрегаты гидроксида кальция, почти не способные в дальнейшем в смеси с водой распадаться на тончайшие частички и давать высокопластичное тесто. При гашении извести в тесто целесообразно устанавливать температуру гасящейся массы в пределах 60...80 °С с тем, чтобы, с одной стороны, не было перегрева материала, а с другой – процесс взаимодействия извести с водой протекал достаточно интенсивно и скоро. Предотвращению перегрева, особенно местного, в толще кусков способствуют также применение измельченной извести (до 1...10 мм), перемешивание во время гашения и, наконец, установление оптимального количества воды для гашения в соответствии со свойствами извести. Перемешивание материала предотвращает также воз-

возможное образование пленок $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на частицах оксида кальция и прекращение ее гидратации. Воду нужно вводить в материал в полном объеме или отдельными дозами с тем, чтобы удерживать температуру массы в указанных пределах.

Свойства воздушной извести и области ее применения. По ГОСТ 9179–77, строительная воздушная известь разделяется на три сорта. Истинная плотность негашеной извести колеблется в пределах 3,1...3,3 г/см³, и на нее влияют главным образом температура обжига, наличие примесей, недожога и пережога. Истинная плотность гидроксида кальция зависит от степени кристаллизации и равна для $\text{Ca}(\text{OH})_2$: кристаллизованной в форме гексагональных пластинок, – 2,23 и аморфной – 2,08 г/см³. Средняя плотность комовой негашеной извести в куске в большой мере зависит от температуры обжига и возрастает с 1,6 (известь, обожженная при 800 °С) до 2,9 г/см³ (длительный обжиг при 1300 °С). Насыпная плотность для извести других видов следующая: для молотой негашеной в рыхлонасыпном состоянии – 900...1100, в уплотненном – 1100...1300 кг/м³; для гидратной извести (пушонки) в рыхлонасыпном состоянии – 400...500, в уплотненном – 600...700 кг/м³; для известкового теста – 1300...1400 кг/м³.

Пластичность, обуславливающая способность вяжущего придавать строительным растворам и бетонам удобообрабатываемость, – важнейшее свойство извести. Пластичность извести связана с ее высокой водоудерживающей способностью. Тонкодисперсные частички гидроксида кальция, адсорбционно удерживая на своей поверхности значительное количество воды, создают своеобразную смазку для зерен заполнителей в растворной или бетонной смеси, уменьшающую трение между ними. Вследствие этого известковые растворы обладают высокой удобообрабатываемостью, легко и равномерно распределяются тонким слоем на поверхности кирпича или бетона, хорошо сцепляются с ними, отличаются водоудерживающей способностью даже при нанесении на кирпичные и другие пористые основания. Все это благоприятно отражается на производительности труда при кладочных и штукатурных работах, на их качестве, а также на долговечности кладки и штукатурки. Известь до сих пор является одним из основных материалов для изготовления чисто известковых и сложных (известково-цементных, известково-гипсовых и др.) строительных растворов.

Прочность растворов и бетонов на строительной воздушной извести прежде всего зависит от условий ее твердения. Медленно твердеют при обычных температурах (10...20 °С) и через месяц приобретают небольшую прочность (0,5...1,5 МПа) растворы на гашеной

известии. Гидратное твердение растворов на молотой негашеной известии дает возможность через 28 сут воздушного твердения достичь прочности при сжатии до 2...3 МПа. При автоклавном твердении можно легко изготовлять плотные известково-песчаные бетоны с прочностью при сжатии до 30...40 МПа и более. Прочность растворов и бетонов на строительной известии возрастает также с увеличением ее активности и уменьшением до некоторого предела водоизвесткового отношения.

Известково-песчаные бетоны и изделия автоклавного твердения, особенно изготовленные на молотой негашеной известии, характеризуются высокой водо- и морозостойкостью. В этом отношении они' практически равноценны изделиям из бетонов на цементах.

Из строительной воздушной известии изготовляют растворы, предназначенные для наземной кладки частей зданий и штукатурок, работающих в воздушно-сухих условиях: бетоны низких марок для конструкций, эксплуатируемых в воздушно-сухих условиях; плотные и ячеистые силикатные (автоклавные) изделия, в том числе крупные блоки и панели; легкобетонные камни, теплоизоляционные и другие материалы автоклавного твердения; смешанные гидравлические вяжущие (известково-шлаковые и известково-пуццолановые цементы); известковые красочные составы.

Широкое применение известии в строительстве обусловлено тем, что она является местным вяжущим веществом. Сырье и топливо для ее получения имеются почти повсюду, а организация производства связана с относительно невысокими капиталовложениями.

Контрольные вопросы

1. Что используется в качестве сырья для производства строительной известии?
2. Чему равен теоретический выход известии из известняка?
3. Какие типы печей используются для обжига известии?
4. При каких температурах производят обжиг известии?
5. Что такое пережог известии и как он влияет на ее свойства? В чем заключается опасность использования такой известии в технологии строительных материалов?
6. Как влияет недожог известии на ее свойства?
7. Какие виды известии Вы знаете?
8. В технологии производства каких строительных материалов используется строительная известь?

Лабораторная работа 4 (с элементами НИРС) ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ОБЖИГА НА ТЕМПЕРАТУРУ И ВРЕМЯ ГАШЕНИЯ ИЗВЕСТИ

Температура и скорость гашения извести являются важными факторами в технологиях, использующих такие вяжущее. Эти характеристики извести зависят от сочетания двух факторов – содержания в сырье примесей и температуры обжига. Общие закономерности влияния этих факторов известны, но точно предсказать температуру и время гашения извести по результатам химического анализа сырья невозможно. В связи с этим при испытании сырья влияние температуры обжига на температуру и скорость гашения определяется опытным путем.

Цель работы: изучить методику определения температуры и скорости гашения извести; выявить зависимости влияния температуры обжига на эти характеристики извести.

Приборы и материалы:

1. Щебень известняковый фр. 5–10 мм.
2. Чаши фарфоровые для обжига.
3. Печь муфельная с рабочей температурой до 1200 °С.
4. Прибор для определения температуры гашения извести.
5. Весы технические с погрешностью взвешивания не более 1 г.
6. Мерные цилиндры на 100 и 250 мл.

Методика и порядок выполнения лабораторной работы

1. С помощью лабораторной щековой дробилки измельчить известняковый щебень и с помощью просеивания через стандартные сита отобрать из продукта дробления фракцию 5–10 мм.

2. Взвесить 3 пробы известнякового щебня массой 1000...1020 г с погрешностью не более 1 °С.

3. Произвести обжиг известняка в муфельной печи при температурах 900, 1050 и 1200 °С.

4. После остывания продуктов обжига до комнатной температуры взвесить их с погрешностью не более 1 г и рассчитать потери при прокаливании по формуле

$$\text{п.п.п.} = 100 \% \cdot (m_0 - m) / m_0,$$

где m_0 и m – массы пробы до и после обжига, соответственно.

5. Определить температуру и время гашения по методике ГОСТ [19].

Оформление работы:

1. Изложить теорию вопроса.
2. Описать методику определения температуры и времени гашения.
3. Результаты испытания свести в табл. 4, построить графики зависимости характеристик извести от температуры обжига.
4. Сделать выводы о влиянии температуры обжига на свойства извести.

Таблица 4

Влияние температуры обжига на температуру и время гашения

№ п\п	Температура обжига, °С	Потери при прокаливании, %	Температура гашения, °С	Время гашения, мин	Вид извести по скорости гашения
1					
2					
3					

Контрольные вопросы

1. Что такое гашение извести?
2. Как подразделяется известь по скорости гашения?
3. Как влияет на температуру и время гашения извести содержание в ней недожога и пережога?
4. Опишите методику определения температуры и времени гашения извести.
5. Как рассчитать потери при прокаливании извести?
6. Какие факторы влияют на температуру и время гашения извести?

2.3. Магнезиальные вяжущие

К магнезиальным вяжущим веществам относят каустический магнезит, состоящий из MgO , и каустический доломит, состав которого характеризуется формулой $MgO \cdot CaO$. Широко применяется каустический магнезит, который получают обжигом в шахтных или вращающихся печах при температуре $700...800$ °С природного минерала магнезита, состоящего из карбоната магния $MgCO_3$. В природе встречаются кристаллическая и аморфная разновидности магнезита, имеющие различную плотность.

Для получения вяжущего каустический магнезит после обжига измельчают до остатка на сите № 02 не более 5 %, а на сите № 008 – не более 25 %.

Для получения магнезиального цемента вяжущее необходимо затворить растворами солей: $MgCl$, $MgSO_4$, $ZnCl_2$, $FeSO_4$ и др.

Производство каустического магнезита заключается в добыче сырья, его дроблении, обжиге и помоле. При обжиге магнезита он разлагается по реакции $MgCO_3 = MgO + CO_2$. Реакция разложения карбоната магния эндотермическая с затратой 1440 кДж теплоты на 1 кг $MgCO_3$. Разложение $MgCO_3$ начинается примерно при 400 °С, но протекает достаточно полно лишь при 600...650 °С.

При увеличении температуры обжига свыше 800 °С оксид магния постепенно уплотняется и приобретает крупнокристаллическое строение. В таком виде MgO называется периклазом, с водой он почти не взаимодействует.

Нормально обожженный каустический магнезит имеет истинную плотность 3,1...3,4 г/см³. При недожоге истинная плотность каустического магнезита ниже 3,1, а при пережоге – выше 3,4 г/см³ вследствие наличия в нем периклаза с истинной плотностью 3,7 г/см³.

Обжигают магнезит в шахтных печах с выносными топками, также во вращающихся печах. Обожженный каустический магнезит измельчают до остатка на сите 02 не более 5 %, а на сите 008 – не более 15 %.

Готовое вяжущее обычно упаковывают в металлические барабаны для предотвращения его гидратации.

Гидратация магнезиального вяжущего. При затворении водой каустический магнезит твердеет медленно и обладает небольшой прочностью. При затворении растворами хлористого магния $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ или сернокислого магния $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ скорость твердения резко возрастает.

Концентрацию раствора хлористого магния берут в 12...30° по Боме, а сернокислого магния – 15...20°; чем она больше, тем медленнее схватывается вяжущее, но тем выше конечная прочность получаемого затвердевшего камня. Увеличение концентрации раствора сверх указанных значений приводит к появлению на изделиях трещин с выделением избытка солей в виде налета кристаллов на поверхности.

Строительные изделия, изготовленные на каустическом магнезите с применением хлористого магния, характеризуются гигроскопичностью; при повышенном содержании в них хлористого магния могут

давать выцветы. Схватывание и твердение каустического магнезита обусловлено гидратацией оксида магния. При затворении каустического магнезита водой начинается медленное взаимодействие с ней оксида магния по реакции $MgO + H_2O = Mg(OH)_2$. При активации магнезита водным раствором хлористого или сернокислого магния скорость взаимодействия оксида магния с водой резко возрастает вследствие повышенной его растворимости в указанных растворах.

Магнезиальный цемент в строительстве применяют для устройства теплых бесшовных, так называемых ксилолитовых полов, основным наполнителем которых служат древесные опилки: эти полы относительно малотеплопроводны, мало истираются, негорючи. Для изготовления фибролитовых плит, получаемых формованием из смеси органических наполнителей (стружки, костры и др.) и каустического магнезита в качестве жидкости затворения используются растворы солей магния.

Каустический доломит – двойная углекислая соль магния и кальция ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) – слагает горные породы осадочного происхождения. Истинная плотность доломита 2,85...1,95 г/см³. Обычно доломиты содержат около 20 % MgO, 30 % CaO и 45 % CO₂. В природе доломит встречается значительно чаще, чем магнезит.

Обжигая доломиты при разных температурах, можно изготавливать каустический доломит, состоящий из MgO и CaCO₃ и получаемый при 650...750 °С, с последующим измельчением; доломитовый цемент, состоящий из MgO, CaO и CaCO₃ и получаемый при 750...850 °С, с последующим измельчением в тонкий порошок. Доломитовый цемент затворяется водой, а по показателям прочности при сжатии трамбованных образцов из раствора 1:3 через 28 сут твердения на воздухе характеризуется марками 25...50, а также доломитовую известь, состоящую из оксидов магния и кальция и получаемую при 900...950 °С.

Производство каустического доломита принципиально не отличается от производства каустического магнезита. Доломит в заводских условиях обжигают при 650...750 °С в шахтных печах с выносными топками и во вращающихся печах.

При затворении каустического доломита растворами солей магния CaO реагирует с ними с образованием хлористого или сернокислого кальция, что отрицательно отражается на качестве затвердевшего каустического доломита.

Контрольные вопросы

1. Что является основным химическим веществом в каустическом магнезите и доломите?
2. При какой температуре обжигают каустический магнезит?
3. Что используется в качестве затворителя в магнезиальных вяжущих?
4. При какой температуре MgO превращается в периклаз? Чем характеризуется этот минерал?
5. В каких печах обжигают магнезит и каустические вяжущие?
6. Чем обусловлено схватывание и твердение каустического магнезита?
7. Какие Вам известны области применения магнезиального цемента?
8. Что используется в качестве заполнителя для устройства полов на основе магнезиального вяжущего?

Лабораторная работа 5 (с элементами НИРС) ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЖИГА КАУСТИЧЕСКОГО ДОЛОМИТА НА ЕГО СВОЙСТВА

Цель работы: определить оптимальный режим обжига каустического доломита.

Приборы и материалы:

1. Доломитовый щебень.
2. Песок кварцевый
3. Муфельная печь.
4. Чаши для затворения.
5. Лопатка для перемешивания.
6. Формы 40×40×160 мм.
7. Мерные цилиндры на 100 и 250 мл.
8. Активатор твердения – раствор хлорида или сульфата магния.
9. Весы лабораторные с разновесами.
10. Гидравлический пресс.
11. Емкость для насыщения образцов.
12. Сита с размером ячейки 5 и 10 мм.
13. Чаши фарфоровые для обжига.
14. Сито №008.
15. Прибор Вика.
16. Сушильный шкаф.

Методика и порядок выполнения лабораторной работы

1. С помощью лабораторной щековой дробилки измельчить доломитовый щебень и с помощью просеивания через сита 5 и 10 мм отобрать из продукта дробления фракцию 5–10 мм.

2. Взвесить 3 пробы доломитового щебня массой 1500...1520 г с погрешностью не более 1 г.

3. Произвести обжиг доломита в муфельной печи при температурах 600, 700 и 800 °С.

4. После остывания продуктов обжига до комнатной температуры взвесить их с погрешностью не более 1 г и рассчитать потери при прокаливании по формуле

$$\text{п.п.п.} = 100 \% \cdot (m_0 - m) / m_0,$$

где m_0 и m – массы пробы до и после обжига, соответственно.

5. Измельчить обожженный доломит в лабораторной шаровой мельнице до остатка на сите 008 не более 15 %.

6. Определить сроки схватывания доломитового теста.

7. Изготовить образцы размером 40×40×160 мм из раствора состава 500 г каустического доломита и 1500 г песка. В качестве жидкости для затворения использовать раствор хлористого или сернокислого кальция.

8. Через 28 суток образцы высушить до постоянной массы при температуре 103...105 °С.

9. Поместить по одному образцу каждого состава в воду, по одному образцу в ванну с гидравлическим затвором, предварительно взвесив его в сухом виде, и по одному образцу хранить в сухих условиях.

10. Через 7 суток определить адсорбционное водопоглощение образцов и водопоглощение при насыщении в воде по формуле

$$W = \frac{m_b - m_c}{m_c} \cdot 100 \%,$$

где m_c – масса образца после высушивания, г;

m_b – масса образца после хранения во влажных условиях, г.

11. Определить прочность при изгибе и сжатии сухого, адсорбционно увлажненного и насыщенного водой образцов.

О ф о р м л е н и е р а б о т ы :

1. Изложить теорию вопроса.

2. Результаты испытания свести в табл. 5, построить графики зависимости характеристик каустического доломита от температуры обжига.

3. Сделать выводы о влиянии температуры обжига на свойства вяжущего.

Таблица 5

Влияние температуры обжига на физико-механические свойства
каустического доломита

№ п\п	Темпе- ратура обжига, °С	Потери при прока- лива- нии, %	Сроки схватывания, ч-мин		Водопогло- щение, %		Коэффициент водо- стойкости, %		Проч- ность, МПа	
			начало	конец	адсорбционное	при насыщении в воде	адсорбционное	при насыщении в воде	изгиб	сжатие
1	600									
2	700									
3	800									

Контрольные вопросы

1. Как рассчитать потери при прокаливании после обжига магнетита?
2. В чем причина расхождения значений теоретических потерь при прокаливании от практических?
3. Опишите методику определения сроков схватывания доломитового теста.
4. Как определить адсорбционное водопоглощение образцов?
5. Как влияет на сроки схватывания концентрация раствора хлористого или сернокислого магния, который используется для затворения вяжущего?
6. В чем недостаток каустического магнетита, затворенного раствором хлористого магния?
7. Как определить адсорбционное водопоглощение образцов магнезиального вяжущего?
8. В чем причина снижения прочности насыщенного водой образца из магнезиального вяжущего?

3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

К гидравлическим вяжущим относятся гидравлическая известь, романцемент и портландцемент. Практическое значение в современном строительстве имеет только портландцемент, который является универсальным вяжущим, применяющимся для производства конструктивных и теплоизоляционных бетонов, а также для отделочных и ремонтных работ.

Гидравлическая известь и романцемент

Гидравлическая известь получают обжигом при температуре 900...1100 °С мергелистых известняков, содержащих от 6 до 25 % глинистых и тонкодисперсных песчаных примесей.

Сырье для производства гидравлической извести и готовый продукт характеризуют основным (гидравлическим) модулем:

$$OM = CaO / (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3),$$

где CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ – содержание в сырье или готовом продукте соответствующих оксидов, %.

Известь считается гидравлической, если значения основного модуля находятся в интервале от 1,7 до 9. При OM = 1,7...4,5 известь называют сильногидравлической, а при OM = 4,5...9 – слабогидравлической. Если гидравлический модуль сырья меньше 1,7 то при обжиге получают романцемент, а если он больше 9 – воздушную известь.

Гидравлическая известь после предварительного твердения на воздухе твердеет в воде и в воздушно-влажной среде. Она может использоваться для приготовления кладочных и штукатурных растворов, эксплуатирующихся во влажных условиях.

Гидравлические свойства вяжущего обеспечиваются минералами, которые образуются при обжиге карбоната кальция с глинистыми примесями – белитом, однокальциевым алюминатом, геленитом и др. При снижении гидравлического модуля содержание этих минералов возрастает, а содержание несвязанного CaO уменьшается.

Производство гидравлической извести включает те же операции, что и производство воздушной извести.

При обжиге сырья, содержащего более 25 % глинистых примесей, получают романцемент. Его технология состоит из тех же операций, что и технология воздушной и гидравлической извести. В роман-

цементе практически весь СаО связывается в силикаты, алюминаты и ферриты. Романцемент характеризуется высокой водопотребностью, нормальная густота его теста находится в пределах 35...50 %, поэтому это вяжущее имеет намного меньшую прочность, чем портландцемент. Наибольшая марка по прочности романцемента – 150, в связи с чем романцемент в строительстве был вытеснен портландцементом.

Контрольные вопросы

1. Из какого сырья можно получить гидравлическую известь?
2. Как рассчитать гидравлический модуль извести?
3. Как называют известь с гидравлическим модулем, равным 4,5...9?
4. В каких условиях твердеет гидравлическая известь?
5. Перечислите области применения гидравлической извести.
6. Какие минералы содержатся в гидравлической извести?
7. Какое вяжущее можно получить из сырья, содержащего более 25 % глинистой примеси?
8. В чем причина низкой прочности романцемента?

Лабораторная работа 6 (с элементами НИРС) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛИНИСТЫХ ПРИМЕСЕЙ НА СВОЙСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ИЗВЕСТИ

Гидравлическую известь изготавливают из мергелистых известняков, содержащих глинистые примеси. Приготовление искусственной сырьевой шихты для производства этого вида вяжущего экономически не оправданно. Однако при выполнении лабораторной работы по определению влияния глинистых примесей на свойства извести исследуется смесь тонкоизмельченных известняка и глины при различных содержаниях компонентов.

Цель работы: исследовать влияние содержания глины в известняке на характеристики гидравлической извести.

Приборы и материалы:

1. Тонкоизмельченные известняк и глина.
2. Чаши фарфоровые.
3. Печь муфельная с рабочей температурой до 1200 °С.
4. Прибор для определения температуры гашения извести.
5. Весы технические с погрешностью взвешивания не более 1 г.

6. Мерные цилиндры на 100 и 250 мл.
7. Сушильный шкаф.
8. Гидравлический пресс.

Методика и порядок выполнения лабораторной работы

1. Приготовить смесь известняка и глины с содержанием последней 8, 15 и 22 %.
2. Смеси перемешать в лабораторной мельнице с небольшой загрузкой шаров.
3. Приготовить из полученных смесей пластическое тесто, из которого изготовить гранулы диаметром около 10 мм.
4. Изготовленные гранулы высушить при температуре 103...105 °С до постоянной массы.
5. Поместить гранулы в фарфоровые чаши для обжига и произвести обжиг при температуре 1100 °С.
6. Определить потери при прокаливании полученного продукта с погрешностью не более 1 г по формуле

$$\text{п.п.п.} = 100 \% \cdot (m_0 - m) / m_0,$$

где m_0 и m – массы пробы до и после обжига, соответственно.

7. Определить время и температуру гашения полученных образцов извести.
8. Изготовить образцы размером 20×20×20 мм из известкового теста пластической консистенции.
9. После твердения образцов в течение 7 суток половину из них поместить в воду.
10. Через 28 суток после изготовления определить прочность на сжатие сухих и насыщенных водой образцов.

Оформление работы:

1. Изложить теорию вопроса.
2. Результаты испытания свести в табл. 6, построить графики зависимости прочности образцов, твердевших в сухих и влажных условиях.
3. Сделать выводы о влиянии содержания глины на свойства гидравлической извести.

Таблица 6

**Влияние содержания глинистых примесей
на свойства гидравлической извести**

№ п\п	Содержа- ние глины в сырье	Потери при прока- ливании, %	Температура гашения, °С	Время гашения, мин	Прочность образцов, МПа	
					твёрдевших в сухих условиях	в насы- щенном водой состоянии
1						
2						
3						

Контрольные вопросы

1. Почему для производства гидравлической извести не используется искусственная сырьевая шихта?
2. В каком количестве могут содержаться глинистые примеси в известняке для получения гидравлической извести?
3. Почему перед обжигом необходимо высушить известь до постоянной массы?
4. Опишите методику приготовления искусственной сырьевой смеси для исследования влияния примесей глины на свойства извести.
5. Какова продолжительность твердения гидравлической извести в воздушно-сухих условиях перед помещением образцов в воду?
6. Как влияет содержание примесей в глине на температуру и время гашения извести?
7. Опишите методику определения времени и температуры гашения извести.
8. Как изменятся потери при прокаливании, если увеличится содержание примесей в сырье для получения гидравлической извести?

3.1. Портландцемент

3.1.1. Общие сведения о портландцементе

Выпускаемый в нашей стране портландцемент для строительных целей должен соответствовать одному из двух стандартов: ГОСТ 10187–87 или ГОСТ 31108–2003. Первый стандарт разработан на основе отечественного опыта производства и применения цемента, а второй гармонизирован со стандартом Европейского Сообщества EN 197-1.

ГОСТ 10187–87 подразделяет цементы на следующие виды: портландцемент, портландцемент, содержащий не более 20 % активных минеральных добавок, и шлакопортландцемент с добавкой шлака более 20 %.

Портландцемент по прочности разделяют на 4 марки: 400, 500, 550 и 600. Для шлакопортландцемента предусмотрено три марки: 300, 400 и 500. Для быстротвердеющего цемента – 400 и 500. Для быстротвердеющего шлакопортландцемента – 400.

В ГОСТ 31108–2003, который гармонизирован со стандартом Европейского Сообщества EN 197-1, вместо марок введены классы по прочности при сжатии в возрасте 28 суток: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5. Значения классов прочности имеют вероятностный характер и установлены с доверительной вероятностью 95 %.

В ГОСТ 31108–2003 помимо требований к прочности в возрасте 28 сут для всех цементов, кроме 22,5Н и 32,5Н, дополнительно нормируются требования к прочности в возрасте двух суток, а для цементов классов 22,5Н и 32,5Н нормируется прочность в возрасте 7 сут. Для цементов классов 32,5 и выше в зависимости от прочности в возрасте 2 суток предусмотрено деление на два подкласса: Н (нормально твердеющий) и Б (быстротвердеющий).

По вещественному составу в новом стандарте цементы подразделяются на пять типов:

- ЦЕМ I – портландцемент, содержащий от 95 до 100 % клинкера;
- ЦЕМ II – портландцемент с минеральными добавками, который может содержать от 6 до 20 % доменного или электротермофосфорного шлака, пуццолановой добавки, золы-уноса, известняка, глиежа, а также от 6 до 10 % микрокремнезема;
- ЦЕМ III – шлакопортландцемент, содержащий от 35 до 64 % клинкера и от 36 до 65 % доменного или электротермофосфорного гранулированного шлака;
- ЦЕМ IV – пуццолановый цемент, содержащий от 65 до 79 % клинкера и от 21 до 35 % пуццолановой добавки;
- ЦЕМ V – композиционный цемент – цемент, в состав которого входит от 40 до 78 % клинкера, от 11 до 30 % шлака и пуццолановой добавки.

Кроме основных компонентов в состав цемента входит до 5 % вспомогательных материалов – добавки, регулирующие сроки схватывания, обычно – гипсового камня.

В зависимости от содержания добавок в этом стандарте предусмотрено 5 типов цемента (табл. 7).

Таблица 7

Физико-механические свойства портландцементов
различных классов

Класс прочности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватывания, мин, не ранее
	2 сут, не менее	7 сут, не менее	28 сут		
			не менее	не более	
22,5Н	–	11	22,5	42,5	75
32,5Н	–	16	32,5	52,5	
32,5Б	10	–			
42,5Н	10	–	42,5	62,5	60
42,5Б	20	–			
52,5Н	20	–	52,5		45
52,5Б	30	–			

Сырье для получения портландцемента содержит в необходимых соотношениях четыре главных оксида – CaO , SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 . Для обеспечения этих соотношений необходимо совместное использование карбонатного и алюмосиликатного сырья. Если в состав алюмосиликатного сырья не входят в оптимальном соотношении оксиды SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 , то для приготовления сырьевой шихты используют кремнеземистые, глиноземистые и железистые корректирующие добавки – побочные продукты промышленности (колошниковая пыль, пиритные или колчеданные огарки) или горные породы (опока, диатомит, боксит, каолин).

В технологии портландцемента в качестве карбонатного и алюмосиликатного сырья возможно использование отходов некоторых отраслей промышленности. К числу таких отходов относятся шлаки, золы, бокситовый (нефелиновый) шлам и др. Однако основным сырьем для производства цемента на сегодняшний день являются природные материалы – карбонатные горные породы и глины.

В качестве карбонатного сырья в технологии портландцемента используются известняк или мел, а также мергель – природная тонкозернистая смесь карбонатных и глинистых минералов. Известняк и мел содержат более 90 %, а мергель – 50...75 % карбоната кальция CaCO_3 . В состав этих горных пород обычно входят примеси – глинистые минералы, кварц и др. Достаточное содержание в сырьевой шихте карбоната кальция – около 3/4 от общей массы сырья – обеспечивает высокую долю оксида кальция в портландцементе клинкере – 63...66 %.

В качестве второго компонента сырья, содержащего оксиды кремния, алюминия и железа, обычно используется глина.

Содержание в сырьевой шихте MgO более 3 % и серного ангидрида более 1 % нежелательно, так как в цементах с повышенным содержанием этих оксидов могут происходить неравномерное увеличение объема и сброс прочности.

При расчете состава сырьевой шихты учитывают не валовое содержание главных оксидов клинкера, а их соотношение, которое выражается в виде модулей:

– гидравлического (основного) $m = \text{CaO} / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$;

– силикатного (кремнеземистого) $n = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$;

– алюминатного (глиноземистого) $p = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$,

где CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ – содержание оксидов в сырьевой шихте, %.

Для расчетов удобнее использовать не гидравлический модуль m , а коэффициент насыщения клинкера известью:

$$\text{КН} = \frac{\text{CaO} - 1,65\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,7\text{SO}_2}{2,8\text{SO}_2}.$$

Значения модулей и коэффициента насыщения обычно находятся в следующих интервалах: $n = 1,7...3,5$, $p = 1...3$, $\text{КН} = 0,88...0,92$. В зависимости от значений этих характеристик сырьевой шихты получают клинкеры с различающимися соотношениями минералов, что позволяет получать различные виды цементов – сульфатостойкий, быстротвердеющий и др.

Основным сырьем для производства извести является известняк или мел. В связи с тем что при обжиге известняка 40 % вещества теряется в виде углекислого газа, строить цементные заводы экономически целесообразно только вблизи крупных месторождений карбонатных пород.

Доля глины в сырьевой шихте значительно меньше, чем доля карбонатных пород – приблизительно 1/4 часть.

Химический состав клинкера колеблется в сравнительно широких пределах. Главные оксиды цементного клинкера – оксид кальция CaO, двуоксид кремния SiO₂, оксиды алюминия Al₂O₃, железа Fe₂O₃, суммарное содержание которых 95...97 %. Кроме них в состав клинкера в виде различных соединений в небольших количествах могут входить оксид магния MgO, серный ангидрид SO₃, двуоксид титана TiO₂, оксиды хрома Cr₂O₃, марганца MnO, щелочи Na₂O и K₂O, фосфорный ангидрид P₂O₅ и др.

Повышенное содержание оксида кальция (при условии обязательного связывания в химические соединения с кислотными оксидами) обуславливает обычно повышенную скорость твердения портландцемента, его высокую конечную прочность, но несколько пониженную водостойкость. Цементы с повышенным содержанием кремнезема в составе клинкерной части характеризуются пониженной скоростью твердения в начальные сроки при достаточно интенсивном нарастании прочности в длительные сроки. Они отличаются повышенной водо- и сульфатостойкостью.

При повышенном содержании Al_2O_3 , а следовательно, и алюминатов цементы приобретают способность к ускоренному твердению в начальные сроки. Увеличение количества глинозема придает цементам меньшую водо-, сульфато- и морозостойкость.

Соединения оксида железа способствуют снижению температуры спекания клинкера. Цементы, богатые Fe_2O_3 , при низком содержании глинозема ведут себя аналогично высококремнеземистым. Относительно медленно схватываясь и твердея в начальные сроки, они в дальнейшем достигают высокой прочности. Цементы с повышенным количеством оксида железа отличаются высокой стойкостью к действию сульфатных вод.

Повышенное содержание в клинкере MgO вызывает неравномерность изменения объема цемента при твердении; поэтому содержание MgO в клинкере не должно превышать 5 %.

Ангидрид серной кислоты SO_3 в виде гипса необходим для регулирования сроков схватывания портландцемента, его содержание ограничивается пределами 1,5...3,5 %. Более высокое содержание SO_3 может вызвать неравномерное изменение объема цемента вследствие образования гидротрисульфатоалюмината кальция.

Щелочи $K_2O + Na_2O$ обычно присутствуют в клинкерах в количестве до 0,5...1 %, причем содержание K_2O , как правило, в несколько раз больше, чем Na_2O . Если щелочей более 1 %, то они вызывают непостоянство сроков схватывания цемента и образование выцветов на поверхности растворов или бетонов. Щелочные соединения могут явиться также причиной опасных деформаций в гидротехнических бетонах на заполнителях, содержащих кремнистые сланцы, опаловидные и другие аморфные видоизменения кремнезема. Для изготовления таких бетонов рекомендуется применять цементы, содержащие не более 0,6 % щелочей (в пересчете на оксид натрия). В клинкерах заводского изготовления при химическом анализе может обнаружиться так называемый нерастворимый в соляной кислоте остаток, который

состоит обычно из кварцевых частичек, не вступивших в реакцию с CaO во время обжига.

Минералы портландцементного клинкера. При обжиге сырьевой шихты происходит синтез минералов портландцементного клинкера. Минералогический состав клинкера представлен четырьмя основными фазами:

- алит (трехкальциевый силикат), химический состав которого можно описать формулой $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, в сокращенной форме – C_3S ;
- белит (β -двухкальциевый силикат) – $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ или C_2S ;
- алюмоферритная фаза – $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ или C_4AF ;
- алюминатная фаза – $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ или C_2A .

Алит – наиболее важный минерал. Его содержание в портландцементном клинкере – 55...65 %. Алит определяет высокие прочность и темпы твердения. В клинкере он содержится обычно в количестве 45...60 %. Алит рассматривают как твердый раствор трехкальциевого силиката и небольшого количества MgO, Al_2O_3 , P_2O_5 , Cr_2O_3 и др. Хотя содержание этих примесей в трехкальциевом силикате и небольшое (2...4 %), они определенным образом влияют на его структуру и свойства. Таким образом, следует различать трехкальциевый силикат, получаемый в лабораторных условиях из химически чистых компонентов, и алит, образующийся в цементном клинкере.

Белит – второй основной силикатный минерал портландцементного клинкера, отличается медленным твердением, но обеспечивает достижение высокой прочности при длительном твердении портландцемента.

Промежуточное вещество, расположенное между кристаллами алита и белита, включает алюмоферритную и алюминатную фазы, а также второстепенные минералы в кристаллическом виде и стекловидную фазу. Все эти фазы при высоких температурах обжига находятся в расплавленном состоянии.

Алюмоферритная фаза промежуточного вещества клинкера (называемая иногда целитом) представляет собой твердый раствор алюмоферритов кальция разного состава, который, в свою очередь, зависит от состава сырьевых смесей, условий обжига и т.п. При этом возможно образование серии твердых растворов между $\text{C}_6\text{A}_2\text{F}$, C_4AF , CAF_2 и C_2F . В клинкерах обычных портландцементов алюмоферритная фаза по своему составу близка к четырехкальциевому алюмоферриту. Поэтому C_4AF при расчетах минералогического состава цементного клинкера по химическому составу с известной условностью считают индивиду-

альным минералом. Истинная плотность C_4AF равна $3,77 \text{ г/см}^3$. В этой фазе часто содержится около 1 % MgO и TiO_2 .

Алюминаты кальция могут встречаться в промежуточном веществе клинкера в виде двух соединений: трехкальцевого алюмината C_3A и пятикальцевого трехалюмината CA_3 , который, по уточненным данным, имеет состав $12CaO \cdot 7Al_2O_3$. Однако в обычных клинкерах с высоким содержанием оксида кальция в сырьевой смеси C_5A_3 обычно отсутствует. C_3A кристаллизуется в кубической системе в виде очень мелких шестиугольников и прямоугольников. Истинная плотность C_3A – $3,04 \text{ г/см}^3$.

Клинкерное стекло обычно присутствует в промежуточном веществе в количестве 5...15 %. Такие значительные пределы колебаний определяются условиями охлаждения клинкера после выхода его из зоны спекания в печи. Стекло состоит преимущественно из CaO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 . В нем содержатся обычно MgO и щелочи.

Технология портландцемента включает в себя три группы процессов:

- 1) приготовление сырьевой шихты;
- 2) получение клинкера при обжиге;
- 3) помол клинкера совместно с гипсом, а для некоторых видов цемента – со шлаком или активными минеральными добавками.

Приготовление сырьевой шихты может производиться двумя способами: мокрым и сухим. При мокром способе известняк измельчают в шаровой мельнице в водной среде и в итоге получают шлам, а глину распускают в глиноболтушках. Полученные шламы (суспензии известняка и глины) перемешивают в шламбассейнах. Мокрый способ позволяет получить качественную сырьевую шихту с меньшими затратами. Однако при обжиге такой шихты по сравнению с шихтой, приготовленной по сухому способу, затраты топлива значительно выше. В связи с этим на проектируемых и строящихся в настоящее время заводах предусмотрена только сухая технология приготовления сырьевой шихты, когда ее компоненты предварительно высушиваются и затем измельчаются в порошок в сухом виде. Компоненты шихты в заданных пропорциях перемешиваются в гомогенизаторах с помощью сжатого воздуха. Перед обжигом сырьевая мука гранулируется.

Обжиг шихты, полученной по мокрому способу, ведется в длинных вращающихся печах (170...230 м). Большая длина печи связана с высокими затратами тепловой энергии на нагрев и испарение влаги в сырьевом шламе.

Обжиг при сухом способе введется в коротких печах. Для повышения эффективности обжига в этих печах используются запечные циклонные теплообменники или конвейерные кальцинаторы.

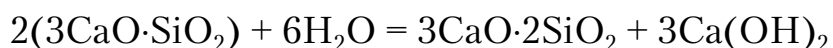
При обжиге происходят следующие процессы:

- испарение физически связанной влаги;
- обезвоживание глинистых минералов;
- декарбонизация;
- синтез алюминатных минералов и двухкальциевого силиката;
- синтез трехкальциевого силиката;
- охлаждение клинкера.

Из вращающейся печи клинкер поступает в холодильник, в котором его температура снижается до 30...50 °С. После этого клинкер измельчается в шаровых мельницах совместно с небольшим количеством гипсового камня, который вводится в цемент для регулирования сроков схватывания. При введении соответствующих минеральных добавок получают различные разновидности цемента: пуццолановый портландцемент, шлакопортландцемент и др.

Гидратация и твердение портландцемента. Твердение смеси вяжущего вещества с водой и достигаемая при этом прочность в начальный и последующие периоды времени зависят от многих факторов – свойств исходных материалов, содержания их в смеси, добавок и температурно-влажностных условий.

Гидратацию алита, основного минерала цементного клинкера, можно описать следующей формулой:



Алит после растворения в воде затвердения разлагается на $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и гель кремнекислоты. При этом концентрация CaO в растворе достигает 500...1500 мг/л, что во много раз превосходит растворимость SiO_2 – не более 15...30 мг/л. Нерастворившийся кремнезем остается на поверхности исходного зерна. На поверхности цементных частичек в начальной стадии образуется гелевая пленка из гидратов (рис. 4), состоящая из первичного гидросиликата. В начале взаимодействия цемента с водой алит дает $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и кремнезем в виде свободных радикалов SiO^{-2} . В последующем между $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и этими радикалами, находящимися в твердой фазе, идет реакция с образованием гидросиликатов кальция состава $1,8\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot 1,9\text{H}_2\text{O}$. Избыток $\text{Ca}(\text{OH})_2$ отлагается в межзерновом пространстве с образованием кристаллов портландита.



Рис. 4. Образование гелевидной оболочки вокруг C_3S через 5 минут после начала гидратации¹

При гидратации белита образуются те же продукты, что и при гидратации алита, но количество гидролизной извести, выделившейся в результате этой реакции значительно ниже.

В результате гидратации силикатных клинкерных минералов образуются главным образом высокоосновные гидросиликаты кальция, имеющие мольное отношение CaO/SiO_2 более 1,5.

После гидролиза и растворения первичных гидратов и диффузии растворенных веществ в пространство между зернами цемента возникает вторичный, «внутренний» гидрат C–S–H (I), по Х. Тейлору, в виде тончайших лепестков (рис. 5). В пространстве же между зернами создаются условия для взаимодействия с ионами Ca^{2+} , OH^- и кремнекислотой с образованием третичных гидросиликатов кальция состава $(1,5-2)CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$. Последние выделяются в виде волокон и игл (рис. 6) и отличаются более высокой степенью кристаллизации по сравнению с C–S–H (I). Аналогично гидратируется β -двухкальциевый силикат.

¹ Здесь и далее приведены снимки микроструктуры гидратов цементных минералов из статей [2 и 3] из списка дополнительной литературы и сайта строительного университета города Ваймара (ФРГ).

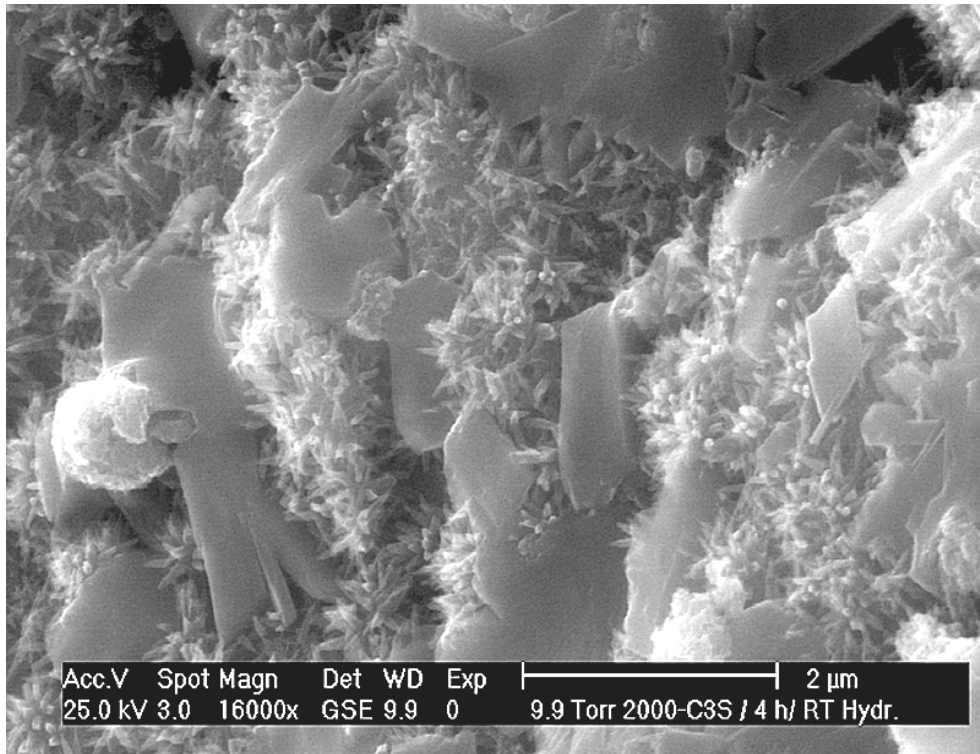


Рис. 5. C₃S через 4 часа гидратации:
C-S-H и портландит

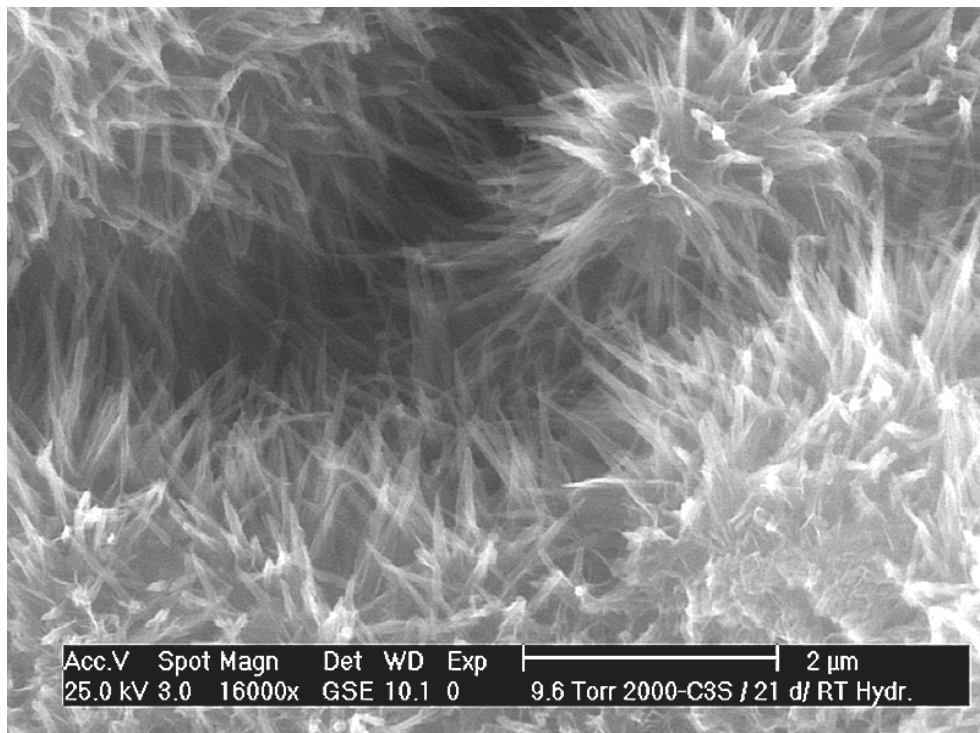


Рис. 6. Игольчатые фазы C-S-H – продукты гидратации C₃S
через 21 сутки

Содержание в клинкере C_3A обычно находится в пределах 6...10 %, однако гидратация этого минерала на ранних стадиях оказывает наибольшее влияние на процессы загустевания и схватывания цементного теста. Это обусловлено тем, что гидратация трехкальциевого алюмината протекает быстрее, чем гидратация других минералов по схеме



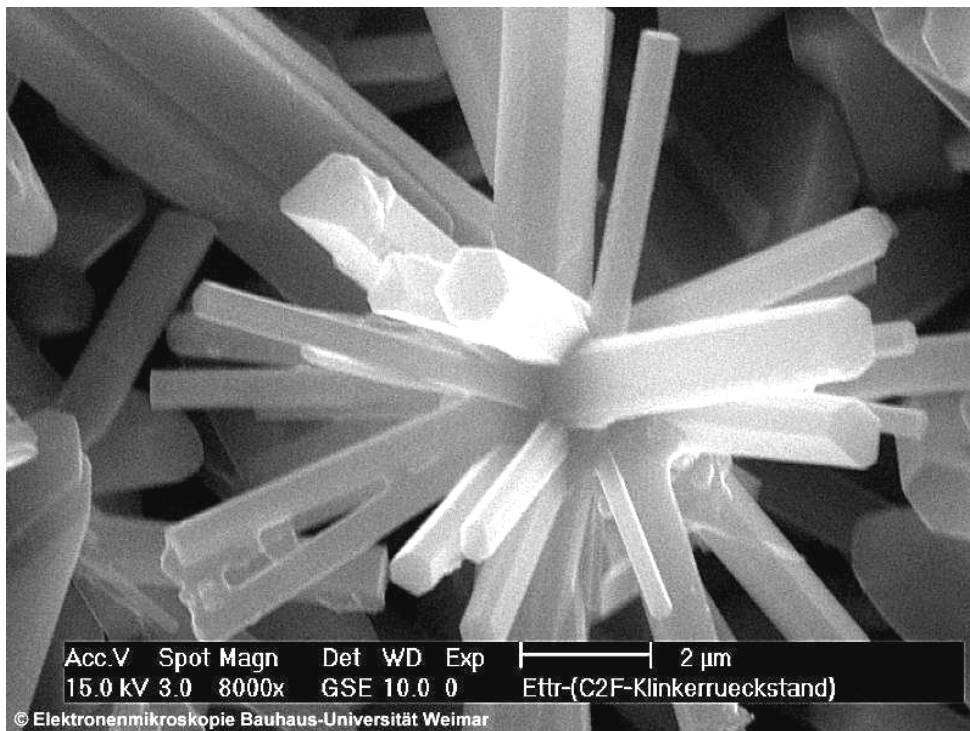
Если не ввести в цемент вещество, регулирующее сроки схватывания, уже через несколько минут после затворения водой цементное тесто слишком быстро потеряет пластические свойства. Для замедления схватывания в цемент вводится сульфата кальция в виде гипсового камня. Взаимодействие трехкальциевого алюмината и сульфата кальция с водой приводит к синтезу кристаллов этtringита $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ (рис. 7, а), которые образуют на поверхности трехкальциевого алюмината плотный слой гидрата, затрудняющий дальнейшую гидратацию C_3A (рис. 7, б), а также замедляющий потерю подвижности и схватывание цементного теста.

Четырехкальциевый алюмоферрит C_4AF также характеризуется высокой скоростью гидратации. Он обеспечивает высокие темп твердения цемента в начальный период твердения.

При исследовании процесса твердения цемента основное внимание долгие годы уделялось химическим и физико-химическим процессам, протекающим при его гидратации. Современные методы исследования, в частности сканирующая электронная микроскопия, позволили установить, что структура новообразований (рис. 8) оказывает определяющее влияние на прочностные и другие свойства вяжущих. Игольчатые и волокнистые кристаллы гидратов, образующиеся на поверхности зерен цемента, соединяют между собой отдельные частицы и обеспечивают высокую прочность их сцепления (рис. 9).

Гидратные новообразования характеризуются высокой дисперсностью. Их удельная поверхность может достигать $2 \cdot 10^5 \dots 4 \cdot 10^5$ м²/кг, т.е. увеличиться в сравнении с удельной поверхностью исходного цемента в 1000 раз. Продукты гидратации цемента имеют форму лепестков, волокон или иголок, в зависимости от состава новообразований и условий их возникновения. Из-за высокой удельной поверхности продуктов гидратации значительная доля слагающих их атомов и ионов находится на поверхности, и, следовательно, они характеризуются наличием свободной энергии, обуславливающей связь частичек новообразований и твердение всей системы.

a



б

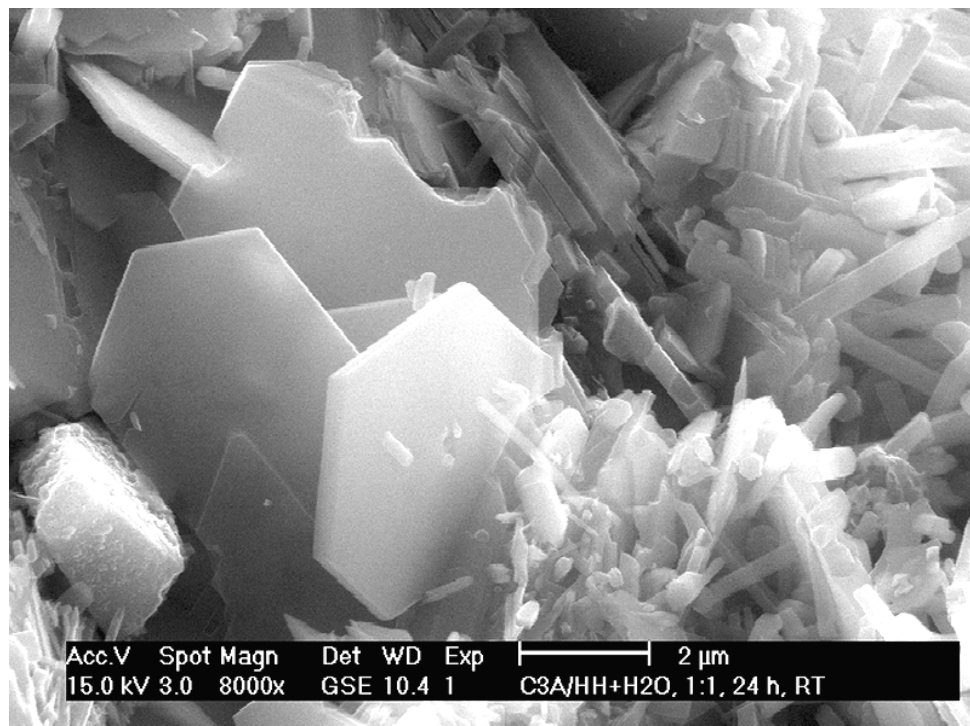


Рис. 7. Сросток кристаллов этtringита (а) и продукты гидратации смеси C₃A и полугидрата после 24 часов гидратации (б)

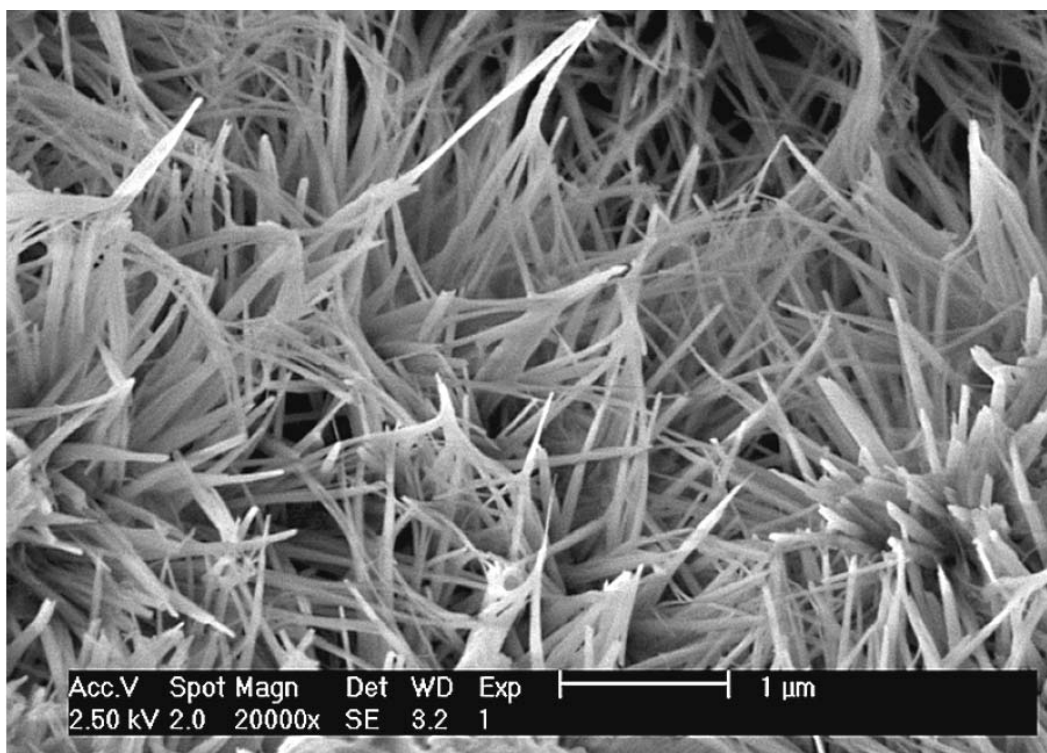


Рис. 8. Микроструктура продуктов гидратации C_3S через 600 суток

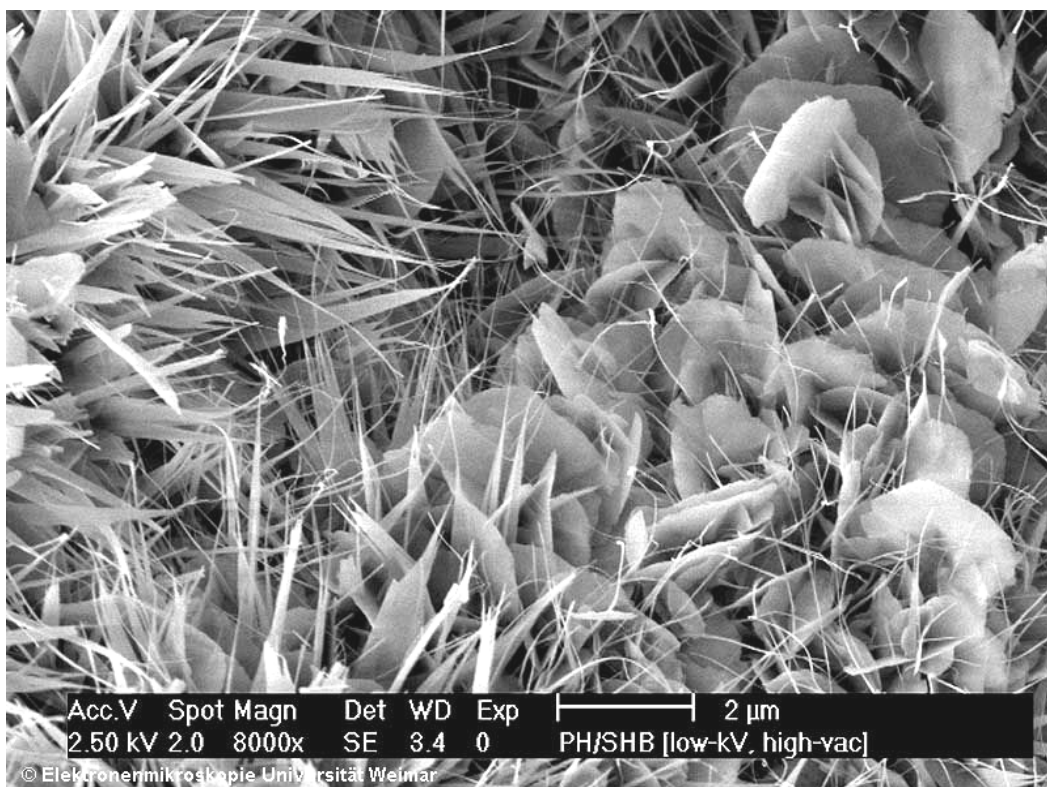


Рис. 9. Гидраты силиката кальция (тоберморита)

Свойства потландцемента

В результате перемешивания цемента с водой получают цементное тесто. При повышении расхода воды подвижность теста увеличивается. Цементное тесто представляет собой концентрированную водную суспензию, характеризующуюся коагуляционной структурой.

При механическом воздействии, например вибрации, происходит разрушение коагуляционных контактов между частицами цементного теста. В результате чего подвижность системы значительно возрастает. После прекращения механического воздействия контакты между частицами цемента восстанавливаются, и тесто становится менее подвижным. Это явление называют тиксотропией.

Нормальная густота цементного теста – водоцементное отношение цементного теста, при котором оно имеет стандартную текучесть. Для определения этой характеристики используется прибор Вика с пестиком диаметром 10 мм. Цементное тесто имеет нормальную густоту, если пестик, погружаясь в цементное тесто, не доходит до поверхности, на которой находится испытываемое тесто, на 5...7 мм. Измерение производят через 30 секунд после начала погружения пестика. Нормальная густота обычного портландцемента находится в пределах 24...28 %, а пуццоланового – до 35 %.

Нормальная густота портландцемента зависит от гранулометрического и минерального состава.

Схватывание цементного теста. В результате гидратации минералов цементного клинкера в тесте в дополнение к коагуляционным контактам возникают кристаллизационные контакты между частицами цемента, которые характеризуются большей прочностью в отличие от коагуляционных контактов, не способных к восстановлению после разрушения. Увеличение числа этих контактов приводит к потере пластичности теста и переходу его из псевдожидкого в твердое камнеподобное состояние. Данный процесс называют схватыванием. Сроки начала и конца этого процесса, имеющего большое практическое значение в технологии бетона, определяют с помощью прибора Вика с иглой диаметром 1,1 мм (рис. 10).

Началом схватывания теста считается время, прошедшее от начала приготовления цементного теста до того момента, когда игла прибора Вика

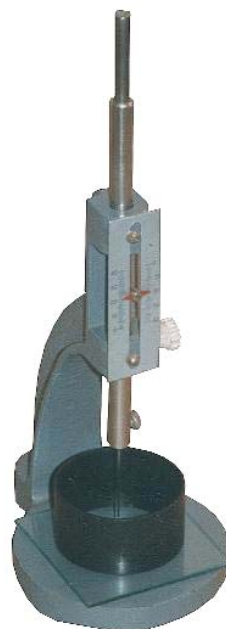


Рис. 10. Прибор Вика с кольцом для цементного теста

погружается в цементное тесто на 2...4 мм. Конец схватывания – время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла прибора Вика погружается в цементное тесто на 1...2 мм. Сроки схватывания выражаются в часах и минутах. Начало схватывания по ГОСТ 10187–87 должно наступить не ранее чем через 45 мин, а конец схватывания – не позднее 10 ч. По ГОСТ 31108–2003 начало схватывания зависит от класса цемента по прочности и находится в интервале от 40 до 60 мин.

Активность портландцемента – это прочность при сжатии цементно-песчаного раствора стандартной консистенции через 28 суток твердения. Для приготовления раствора используется песок с нормируемыми характеристиками. В зависимости от полученной прочности назначают марку цемента, при этом учитывают прочность через 2, 3 или 7 суток (в зависимости от используемого стандарта и класса цемента), а по ГОСТ 10178–85 нормируется также прочность при изгибе. На активность цемента влияют следующие факторы: тонкость измельчения, минералогический состав, содержание активных минеральных добавок.

Равномерность изменения объема – важное свойство цемента. изменение объема цементного камня приводит к сбросам прочности, а иногда его разрушению. Это негативное явление может быть вызвано содержанием в цементном клинкере:

- свободного оксида кальция более 1,5 %;
- свободного оксида магния, в связи с чем его количество в цементном клинкере ограничивается 5 %.

При высокой температуре обжига клинкера эти оксиды образуют медленно гасящиеся формы, которые продолжают взаимодействовать с водой после потери цементным тестом пластических свойств, что приводит к снижению прочности цементного камня или образованию в нем трещин.

Иногда снижение прочности наблюдается в цементах с повышенным содержанием C_3A или при избыточном введении гипса. В таких цементах при гидратации образуется повышенное количество высокосульфатной формы гидросульфата алюмината кальция.

Для определения равномерности изменения объема в ГОСТ [15] предусмотрена методика, основанная на кипячении цементных образцов в форме лепешек диаметром 7...8 см и толщиной в середине около 1 см. После изготовления эти образцы твердеют в течение одних суток во влажных условиях и затем подвергаются кипячению в течение 3 часов. Если в образцах после проведения испытания не наблюдается

искривлений или образований трещин, то считается, что цемент не имеет неравномерного изменения объема.

Цементы с повышенным содержанием оксида магния испытывают на равномерность изменения объема аналогичным образом, однако образцы не кипятят, а запаривают в автоклаве при давлении насыщенного пара 2 МПа.

Применение портландцемента. Портландцемент и его разновидности являются главным вяжущим материалом в современном строительстве, который используется для производства конструктивных строительных бетонов, для сооружения дорожного полотна, при строительстве гидротехнических сооружений, для изготовления кладочных, штукатурных и других видов строительных растворов и различных видов отделочных материалов (шпаклевки и т.д.).

Большая часть портландцемента используется для производства бетонных и железобетонных конструкций. Существуют две разновидности этих конструкций: сборные и монолитные.

Сборные конструкции изготавливаются на заводах и полигонах. Для интенсификации технологии бетон после формования подвергают тепловлажностной обработке при температуре около 80 °С. В результате уже менее чем через сутки можно получить изделие, готовое к монтажу. Технология строительства из сборных железобетонных конструкций позволяет вести строительство независимо от погодных условий, так как твердение цемента происходит в оптимальных условиях в заводских цехах.

Вторая разновидность технологии строительства зданий из железобетона – монолитная, при которой конструкции возводятся непосредственно в проектном положении путем укладки и уплотнения бетона в опалубке. Наиболее важным недостатком этой технологии с точки зрения твердения цемента является необходимость обеспечения нормального температурно-влажностного режима при различных погодных условиях, включая отрицательные температуры в осенне-зимний период. В связи с этим при монолитном строительстве набор прочности бетона до распалубочной может продолжаться несколько недель.

При возведении массивных бетонных конструкций – платин, массивных фундаментов – выделение тепла при гидратации портландцемента может приводить к опасному нагреву и растрескиванию бетона. В этих случаях применяют цементы с пониженным тепловыделением – цементы с минеральными добавками.

При эксплуатации бетона в условиях действия сульфатных вод необходимо использовать сульфатостойкий цемент бездобавочный или шлакопортландцемент.

Контрольные вопросы

1. Что является сырьем для производства портландцемента?
2. Какие виды портландцемента Вам известны?
3. В чем отличие класса цемента от его марки?
4. Почему содержание MgO в сырьевой шихте для производства портландцемента не должно превышать 5 %?
5. Какую роль играет гипсовый камень, который вводят в цемент при его помоле?
6. Перечислите главные минералы цементного клинкера.
7. Напишите реакцию гидратации алита.
8. Напишите реакцию гидратации C₃A.

Лабораторная работа 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ

Активные минеральные добавки представляют собой кислые природные или искусственные материалы (обычно промышленные отходы), которые добавляют к клинкеру при помоле для улучшения некоторых свойств цемента и экономии клинкера или смешивают с известью для получения известково-пуццолановых вяжущих. Если в качестве добавки в цемент вводится 21...60 % шлака, то такой цемент называется шлакопортландцементом, а если вводится от 21 до 30 % природной кислой добавки – опоки, трепела, диатомита – пуццолановым цементом. Содержание добавок вулканического происхождения, топливной золы, обожженной глины может достигать в пуццолановом цементе 40 %.

Цель работы: определить активность минеральной добавки методами установления конца схватывания, водостойкости и предела прочности при изгибе и сжатии.

Приборы и материалы:

1. Известь-пушонка 1-го или 2-го сорта.
2. Добавки: опока, цемянка молотая, керамзит, диатомит, зола, шлак и т.д.
3. Чаши для затворения.
4. Весы лабораторные с разновесами.

5. Прибор Вика с пестиком и иглой, кольца к прибору Вика.
6. Гипсовый камень.
7. Мерные цилиндры на 100 и 250 мл.

Методика и порядок выполнения лабораторной работы

Определение активности минеральной добавки основано на ее способности придавать гидравлические свойства смеси добавки с известью вследствие медленной реакции $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с кислыми оксидами добавки с образованием малорастворимых гидросиликатов, гидроалюминатов и гидроферритов кальция.

1. Подготовка добавки. Пробу добавки массой 6 кг высушить в течение двух часов. Из этого количества измельчить 3,5 кг добавки до такой тонкости, чтобы при просеивании через сито с сеткой № 008 проходило не менее 85 % массы просеиваемой пробы.

2. Определение конца схватывания. Приготовить смесь из 1600 г добавки, 400 г гидратной извести и 57 г гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Смешать компоненты в течение двух часов в лабораторной мельнице. Для перемешивания поместить небольшое количество резиновых пробок с тем, чтобы не вызвать дополнительного измельчения материалов. Для однородного смешивания вручную компоненты можно поместить на лист тонкой бумаги или полиэтиленовую пленку и пересыпанием пробы в разных направлениях получить однородную смесь, которую для повышения однородности пропустить через сито.

3. Определение нормальной плотности теста в соответствии с ГОСТ 310.3–76. «Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема». Двумя замесами теста нормальной плотности заполнить два кольца прибора Вика, выровнять ножом поверхность, покрыть ее пластинками стекла для предотвращения карбонизации теста углекислотой воздуха и поставить в ванну воздушно-влажного хранения с гидравлическим затвором.

Через 24 часа после затворения с одного образца снять верхнюю пластинку, выполнить первый замер на приборе Вика и опять поместить кольцо в ванну. Последующие замеры производить один раз в сутки.

4. Определение водостойкости. При достижении конца схватывания второй образец извлечь из ванны, снять кольцо и поместить образец в воду. Образец считают выдержавшим испытание на водостойкость, если по истечении установленного времени не обнаруживается размывания образца и сохраняется четкость его краев.

5. Определение предела прочности при изгибе и сжатии. Из смеси, подготовленной по п.2, сделать тесто нормальной густоты и заформовать по 3 образца-балочки размером 40×40×160 мм каждого состава. Образцы в формах хранить в ванне с гидравлическим затвором над водой. Время нахождения образцов в ванне должно соответствовать концу схватывания теста, после чего образцы в формах загрузить в пропарочную камеру и подвергнуть пропариванию в соответствии с ГОСТ 310.4–81. «Цементы. Методы определения пределов прочности при изгибе и сжатии».

Определение предела прочности образцов при изгибе и сжатии проводят по [16] через 24 часа с момента начала пропаривания. Параллельно могут быть изготовлены образцы для твердения в нормальных условиях с целью установления темпов набора прочности и оценки реакционных свойств смеси.

Оформление работы:

1. Название добавок и результаты испытаний занести в табл. 8.
2. Сделать выводы по работе, записать возможные реакции образования твердеющих структур.

Т а б л и ц а

Свойства активных минеральных добавок

№ п/п	Наименование добавки	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, сут	Коэффициент размягчения	Прочность, МПа	
					через 28 суток	после ТВО
1	Опока пензенская					
2	Шлак доменный					
3	Керамзитовая пыль					

Контрольные вопросы

1. Какие материалы используются в качестве активных минеральных добавок?
2. На чем основана методика определения активности минеральных добавок?
2. С каким веществом взаимодействуют активные минеральные добавки в цементном камне?

3. В чем причина повышения водостойкости воздушной извести с активной минеральной добавкой?

4. В чем преимущества пуццоланового цемента при строительстве гидротехнических сооружений?

5. Почему повышается пуццолановая активность обожженной глины?

6. В чем заключаются недостатки осадочных горных пород при использовании их в качестве активных минеральных добавок?

Лабораторная работа 8 ВЛИЯНИЕ АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА

Введение в цемент тонкомолотой активной минеральной добавки позволяет не только экономить дорогостоящий цементный клинкер, но и существенно улучшать некоторые свойства цемента, например повышать химическую стойкость, снижать тепловыделение. Однако при введении добавки свыше оптимального количества свойства цемента могут существенно ухудшаться.

Цель работы: исследовать влияние активной минеральной добавки на свойства цемента и установить ее оптимальное количество.

Приборы и материалы:

1. Портландцемент бездобавочный.
2. Шлак доменный гранулированный.
3. Пуццолановая добавка.
4. Весы лабораторные.
5. Сферическая чаша для приготовления строительного раствора.
6. Лопатки для перемешивания.
7. Мерные цилиндры на 100 и 200 мл.
8. Лабораторная мельница.
9. Встряхивающий столик с формой-конусом.
10. Машина МИИ-100 для испытаний образцов на изгиб.
11. Гидравлический пресс для испытаний образцов на сжатие.

Методика и порядок выполнения лабораторной работы

1. Приготовить два состава цемента с различным содержанием молотых активных минеральных добавок. Например, для шлакопортландцемента содержание шлака – 25 и 50 %, а для пуццоланового портланд-

цемента содержание активной минеральной добавки – 15 и 30 %. Перемешивание компонентов производят в течение 2-х часов в лабораторной шаровой мельнице, в которую для предотвращения измельчения цемента загружают резиновые пробки.

2. Определить в соответствии с ГОСТ 310.3–76 и ГОСТ 310.4–81 следующие свойства цемента:

- нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста;
- В/Ц, необходимое для получения цементного раствора стандартной консистенции;
- предел прочности на изгиб и сжатие через 3, 7 и 28 суток нормального твердения, а также через 2 часа и 28 суток после тепловлажностной обработки.

Оформление работы:

1. Изложить последовательность выполнения работы.
2. Результаты испытания занести в табл. 9.
3. Построить графики зависимости свойств цемента от содержания активной минеральной добавки.
4. Сделать выводы об оптимальном содержании активной минеральной добавки.

Т а б л и ц а

Влияние количества минеральной добавки на свойства цемента

№ п/п	Вид и кол-во добавки, %	Норм. густо- та, %	Сроки схватывания, ч-мин		В/Ц рас- творя 1:3	Прочность образцов, МПа, через					
			начало	конец		3 суток		7 суток		28 суток	
						$R_{И}$	$R_{СЖ}$	$R_{И}$	$R_{СЖ}$	$R_{И}$	$R_{СЖ}$
1											
2											
3											

Контрольные вопросы

1. Какую роль играют активные минеральные добавки в цементе?
2. Как называется цемент, содержащий более 21 % опоки, трепела или диатомита?
3. Какое количество шлака содержится в шлакопортландцементе?
4. С чем связана пониженная морозостойкость бетонов, изготовленных с применением пуццолановых цементов?
5. Почему пуццолановые портландцементы характеризуются более продолжительными сроками схватывания и замедленными темпами набора прочности?

Лабораторная работа 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЦЕМЕНТОВ

Изделия и конструкции из цементных бетонов часто эксплуатируются в условиях воздействия различных коррозионно-активных сред. Коррозионная стойкость разных видов цементов существенно различается; поэтому имеет большое значение правильный выбор типа цемента для производства железобетонных изделий в зависимости от условий их эксплуатации.

Цель работы: исследовать стойкость основных разновидностей портландцементов при воздействии жидких агрессивных сред.

Приборы и материалы:

1. Портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент, сульфатостойкий портландцемент.
2. Вода дистиллированная.
3. 5 %-й раствор хлористого или сернокислого магния.
4. 10 %-й раствор сернокислого натрия.
5. Формы 20×20×20 мм.
9. Пресс для испытания предела прочности образцов на сжатие.

Методика и порядок выполнения лабораторной работы

1. Из цементного раствора состава 1:3 при В/Ц=0,5 изготовить с использованием каждого вида цемента по 27 образцов размером 20×20×20 мм. Через двое суток образцы освободить от форм и поместить в воздушно-влажные условия, а через 14 суток после изготовления по 3 образца испытать на сжатие, по 6 образцов поместить в воздушно-влажные условия твердения и по 5 образцов – в следующие среды:

- воду дистиллированную;
- 5 %-й раствор $MgCl_2$ или $MgSO_4$;
- 10 %-й раствор Na_2SO_4 (образцы должны быть погружены в раствор на 3/4 высоты).

2. В течение двух месяцев периодически менять растворы с интервалом 15 суток, а дистиллированную воду – через 3–4 суток.

3. Через 1 и 2 месяца извлечь по 3 образца из жидких сред, вытереть сухой тканью и испытать на сжатие. Определить предел прочности на

сжатие образцов, твердевших в нормальных условиях, и рассчитать коэффициент коррозионной стойкости:

$$K = R_a / R_n,$$

где R_a и R_n – пределы прочности образцов, хранившихся в агрессивной среде и в воде соответственно.

Оформление работы:

1. Изложить порядок выполнения работы и теорию вопроса.
2. Написать уравнения возможных реакций и определить, к какому виду коррозии относятся процессы, протекающие в образцах при хранении в различных растворах.
3. Результаты испытаний записать в табл. 10.
4. Построить графики зависимости прочности образцов от вида цемента, условий и времени хранения.

Т а б л и ц а 1 0

Содержание окислов, вносимых в расплав

Вид цемента	Предел прочности, МПа, и коэффициент стойкости в средах, через								
	14 сут в нормаль- ных условиях	28 суток				2 месяца			
		в норм. услов.	H ₂ O дист.	5 % р-р MgCl ₂	10 % р-р Na ₂ SO ₄	в норм. услов.	H ₂ O дист.	5 % р-р MgCl ₂	10 % р Na ₂ SO ₄

Контрольные вопросы

1. Какие вещества могут вызвать химическую коррозию цемента?
2. В чем причина более высокой коррозионной стойкости шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента?
3. Какие требования предъявляются к минералогическому составу сульфатостойкого портландцемента?
4. Почему мягкая проточная вода может привести к разрушению цементного камня? Как называется этот вид коррозии?
5. Какие виды коррозии Вам известны?
6. Опишите методику определения коррозионной стойкости портландцемента.
7. За счет чего можно повысить стойкость цемента к коррозии выщелачивания?
8. Почему растворы MgCl₂ и MgSO₄ являются коррозионно-активными средами для цемента?

Лабораторная работа 10 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК

Пластификаторы – добавки, разжижающие минеральные водно-дисперсные системы и повышающие удобоукладываемость и пластичность смесей. Эти добавки по величине пластифицирующего эффекта делятся на пластификаторы и суперпластификаторы. С учетом того что использование пластификаторов может обеспечить не только разжижение бетонных и растворных смесей, но и сокращение расхода воды, эти добавки часто называют водоредуцирующими. Возможность уменьшения расхода воды в смеси с добавкой пластификатора без снижения удобоукладываемости называют водоредуцирующим эффектом (ВР).

Пластифицирующие (водоредуцирующие) добавки могут быть использованы для решения различных задач:

– увеличения прочности бетона, т.к. использование пластификаторов позволяет сократить расход воды (без снижения удобоукладываемости), уменьшить В/Ц, а следовательно, получить более высокую прочность и долговечность;

– экономии цемента, т.к. при одновременном сокращении расхода цемента и воды (при неизменном В/Ц) получают те же значения прочности и удобоукладываемости и более низкую усадку и тепловыделение;

– улучшения удобоукладываемости, т.к. применение пластифицирующих добавок без изменения состава бетона увеличивает подвижность бетонной смеси, не изменяя его прочности и долговечности.

По химической основе действующего вещества суперпластификаторы делятся на следующие виды:

- сульфонафталинформальдегиды (ВР=15...25 %);
- сульфомеламинформальдегиды (ВР=15...25 %);
- поликарбоксилаты (ВР=30...30 %);
- эфиры поликарбоксилатов (ВР=25...45 %);
- сополимеры акриловые (ВР=25...45 %).

Показатель ВР последних трех видов суперпластификаторов в 2 раза и более превышает данный показатель остальных пластификаторов. Для их обозначения был предложен термин «гиперпластификатор», который используется чаще не в нормативной, а в научно-исследовательской и информационно-рекламной литературе. Химические формулы этих добавок приводятся на рис. 11.

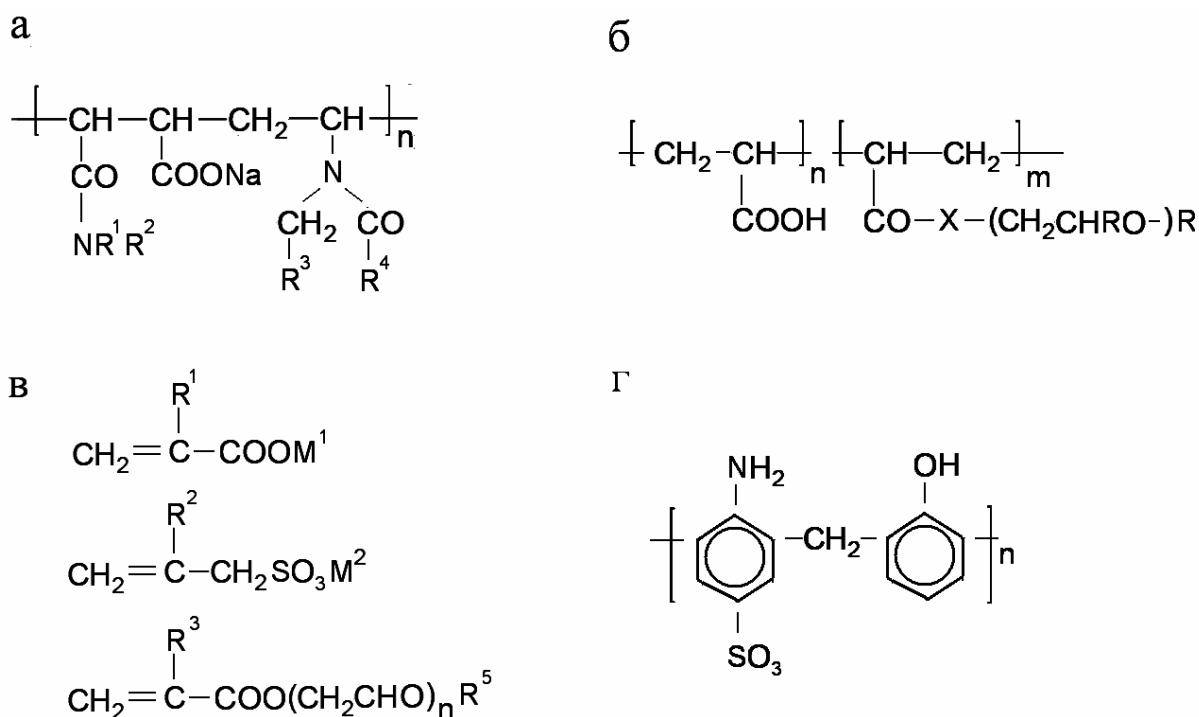


Рис. 11. Формулы некоторых типов суперпластификаторов:
а – винилсополимерного; б – полиакрилатного;
в – поликарбоксилатного ($\text{R}^1, \text{R}^2, \text{R}^3, \text{R}^4$, – Н или CH_3 ; акрильные группы с 1–3 атомами углерода; М и М – щелочной или щелочеземельный металл, аммоний или остаток органического амина; $n = 5-25$);
г – сульфофенолформальдегидного

В соответствии с межгосударственным стандартом [1], действующим в России, эффективность пластифицирующих добавок определяется на бетонных смесях по увеличению подвижности бетонной смеси (осадки конуса). Кроме подвижности бетонной смеси по стандартной методике оценивают влияние добавки на прочность бетона или раствора в возрасте 3 и 28 сут при одинаковом водоцементном отношении контрольного состава и состава с добавкой пластификатора. Испытания проводят на бетонах регламентированного состава, что позволяет получить сопоставимые результаты в различных лабораториях. Результаты, полученные с помощью стандартной методики, достаточно точно характеризуют влияние добавок на свойства бетона в условиях производства, но эта методика имеет ряд существенных недостатков: трудоемкость эксперимента, материалоемкость при его выполнении. Определение эффективности суперпластификаторов на различных составах бетона приводит к значительным расхождениям результатов. Кроме того, эта методика из-за высокой трудоемкости малоприменяема для оперативной оценки качества пластифицирующих добавок в строительных лабораториях. В связи с этим сравнительные испытания различных суперпластификаторов целесообразно проводить на цементных суспензиях.

Цель работы: изучить методы оценки эффективности пластифицирующих добавок.

Приборы и материалы:

1. Вискозиметр Суттарда.
2. Цилиндрический вискозиметр с размерами $h = 20$ мм и $d = 10$ мм или $h = 50$ мм и $d = 25$ мм.
3. Фарфоровые чаши для затворения вместимостью 20...30 мл и 100...150 мл.
4. Металлические или фарфоровые шпатели.
5. Мерные линейки.
6. Мерные цилиндры на 100, 50 и 25 мм.
7. Бюретки для дозирования воды с точностью 0,1 мл.
8. Пластифицирующие добавки: С-3, ЛСТ.
9. Портландцемент без добавок или с минеральными добавками.
10. Шлаки, строительный гипс, гашеная известь, различные твердые отходы производства или природные материалы, измельченные до удельной поверхности 300...500 м²/кг.

Методика выполнения работы

Для исследования новых, в том числе комплексных, пластификаторов, определения их оптимальной дозировки предварительные эксперименты целесообразно проводить не на бетонной смеси, а на цементной суспензии, которая непосредственно является физической матрицей реологических изменений в системе, ответственной за пластифицирующий эффект добавок.

Изменение водопотребности и подвижности для достижения одинаковой плотности суспензии удобно оценивать цилиндрическим вискозиметром (рис. 12) по величине расплыва на границе начала гравитационной растекаемости. Предельное напряжение сдвига по величине расплыва достаточно точно может быть определено по формуле

$$\tau_0 = \frac{h \cdot d^2 \cdot \rho \cdot g}{k \cdot D^2},$$

где τ_0 – предельное напряжение сдвига суспензии, Па;

h и d – высота и диаметр вискозиметра, м;

ρ – плотность суспензии, кг/м³;

D – диаметр расплыва суспензии, м;

k – коэффициент, учитывающий перераспределение напряжений в вязкопластических телах, равный 2;

g – ускорение свободного падения, м²/с.

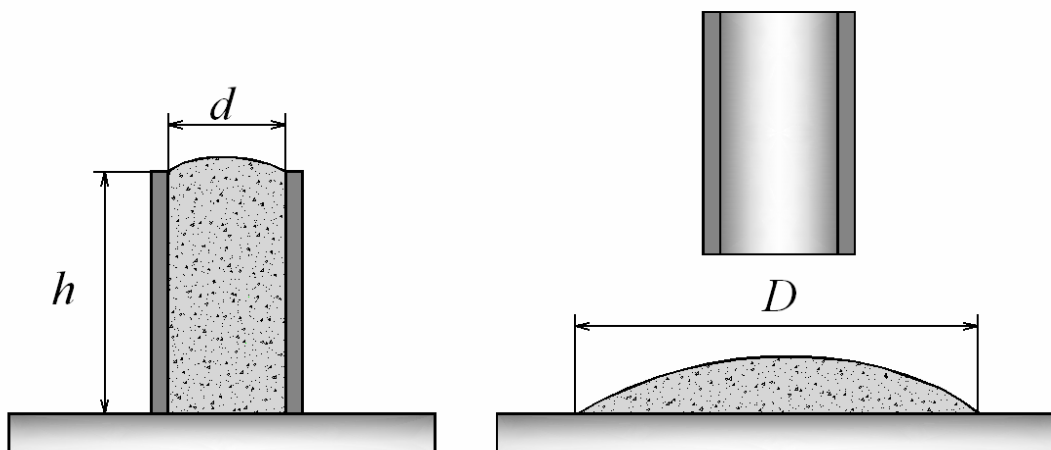


Рис. 12. Определение текучести цементного теста с помощью цилиндрического вискозиметра

Эффективность применения пластифицирующих добавок в дисперсных системах, бетонных и растворных смесях может оцениваться по следующим показателям:

– водоредуцирующему индексу, т.е. уменьшению расхода воды в изореологических состояниях систем:

$$\text{ВИ} = V_{\text{п}} / V_{\text{н}},$$

где $V_{\text{н}}$ и $V_{\text{п}}$ – водопотребности соответственно непластифицированной и пластифицированной систем;

– концентрированному индексу КИ, т.е. увеличению объемной концентрации твердой фазы дисперсной системы:

$$\text{КИ} = C_{\text{п}} / C_{\text{н}},$$

где $C_{\text{п}}$ и $C_{\text{н}}$ – объемные концентрации твердой фазы пластифицированной и непластифицированной систем в изореологическом состоянии. Объемная концентрация определяется по формуле

$$C = \frac{1/\rho}{1/\rho + B/T};$$

здесь ρ – абсолютная плотность твердой фазы (для цемента $\rho = 3100 \text{ кг/м}^3$);

B/T – водотвердое отношение;

– реологическому индексу (по осадке конуса), т.е. увеличению осадки конуса ОК при одинаковом водосодержании:

$$РИ_0 = ОК_{II} / ОК_{I},$$

где ОК_{II} и ОК_I – осадки конуса пластифицированной и непластифицированной бетонных смесей, см;

– реологическому индексу по жесткости смеси, т.е. понижению жесткости Ж:

$$РИ_{ж} = Ж_{II} / Ж_{I},$$

где Ж_{II} и Ж_I – жесткости непластифицированной и пластифицированной бетонных смесей, с;

– реологическому индексу по пластической прочности РИ_р, т.е. по уменьшению пластической прочности:

$$РИ_p = R_{II} / R_{I},$$

где R_{II} и R_I – пластические прочности непластифицированной и пластифицированной смесей;

– реологическому индексу по сопротивлению прессованию РИ_р, т.е. снижению давления²:

$$РИ_p = P_{II} / P_{I},$$

где P_{II} и P_I – удельные давления прессования непластифицированной и пластифицированной композиций, МПа.

Ход выполнения работы

1. Определить В/Т-отношение суспензии (цемент, молотые шлаки, известь, гипсовый камень), необходимое для получения расплыва на границе гравитационной растекаемости, и вычислить предельное напряжение сдвига $\tau_0=70...80$ Па (распльвы на границе гравитационной растекаемости для вискозиметров с $d = 10$ мм и $h = 20$ мм, с $d = 25$ мм и $h = 50$ мм соответственно должны быть 20...23 мм и 70...80 мм).

² При оценке эффективности пластификаторов водоредуцирующие индексы в прессованных композициях оцениваются так же как в других системах, а изореологическое состояние принимается по значению прессовочного давления, при котором достигается одинаковая плотность прессовок.

2. Определить В/Т-отношение суспензий с различной дозировкой пластифицирующей добавки при одинаковой с контрольным составом подвижности ($\tau_0 = 70...80$ Па).

3. Рассчитать показатели эффективности пластификаторов:

- водоредуцирующий индекс:

$$ВИ = \frac{В/Ц_{п}}{В/Ц_{н}}$$

где $В/Ц_{п}$, $В/Ц_{н}$ – водоцементные отношения непластифицированной и пластифицированной равноподвижных суспензий;

- концентрационный индекс:

$$КИ = \frac{C_{п}}{C_{н}}$$

где $C_{п}$, $C_{н}$ – концентрации твердой фазы в пластифицированной и непластифицированной суспензиях;

- концентрационно-водоредуцирующий индекс:

$$КВИ = ВИ \times КИ.$$

4. В соответствии с табл. 11 определить категорию пластификатора и возможное сокращение расхода цемента.

Т а б л и ц а 11

Зависимость между группами пластифицирующих добавок и реологическими индексами

№ п/п	Группа пластификатора	Увеличение подвижности смеси	ВИ	КИ	КВИ	Возможная экономия цемента, кг/м ³
1	Суперпластификаторы	От П1 (ОК=2...4 см) до П5	> 2,5	> 1,5	> 3,8	
2	Сильные пластифицирующие	От П1 до П4	2...2,5	1,4...1,25	2,8...3,8	
3	Пластифицирующие	От П1 до П3 или П2	1,5...2	1,25...1,4	1,85...2,8	

Оформление работы:

1. Изложить методику и последовательность выполнения работы.
2. Результаты экспериментов занести в табл. 12.
3. Построить графики зависимости концентрационно-водоредуцирующего индекса от дозировки добавки. Определить концентрацию пластификатора, повышение которой не приводит к увеличению пластифицирующего эффекта.
4. Сделать выводы об оптимальных дозировках добавок-пластификаторов.

Таблица 12

Результаты определения эффективности пластифицирующих добавок

Название добавки	Кол-во добавки, %	В/Ц	Диаметр расплыва, мм	τ_0 , Па	ВИ	КИ	КВИ	Категория пластификатора
ЛСТ	0,2							
	0,4							
	0,5							
Melflux 2641 F	0,2							
	0,4							
	0,6							
С-3	0,5							
	0,7							
	1,0							

Контрольные вопросы

1. Назовите основные и дополнительные эффекты пластифицирующих добавок в цементных растворах и бетонах.
2. На чем основано разжижающее действие пластифицирующих добавок?
3. Для решения каких задач могут быть использованы пластифицирующие добавки?
4. На какой химической основе производятся суперпластификаторы?
5. Можно ли оценить пластифицирующее действие добавки на цементной суспензии?
6. Как рассчитать предельное напряжение сдвига по величине расплыва цементной суспензии?
7. На сколько процентов можно снизить расход воды в бетонной смеси при использовании суперводоредуцирующей добавки?
8. Почему потеря подвижности смесей с пластифицирующей добавкой происходит быстрее по сравнению с бездобавочными смесями?

Лабораторная работа 11 ВЛИЯНИЕ ТОНКОСТИ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА НА ЕГО СВОЙСТВА

Свойства цемента зависят от его дисперсности. Это объясняется тем, что скорость реакции взаимодействия минералов цемента с водой, которая протекает на поверхности раздела твердой и жидкой фаз, с увеличением удельной поверхности возрастает. При этом повышаются прочность и темпы ее набора, сокращаются сроки схватывания, снижается водопотребность цемента. Увеличение тонкости помола оправданно до определенного предела, после которого дисперсность цемента изменяется незначительно, а затраты энергии на дальнейшее измельчение значительно возрастают.

Цель работы: определить влияние удельной поверхности портландцемента на его свойства.

Приборы и материалы:

1. Портландцемент.
2. Чаши для затворения.
3. Лопатки для перемешивания.
4. Мерные цилиндры на 100 и 200 мл.
5. Лабораторная мельница.
6. Лабораторная виброплощадка.
7. Встряхивающий столик с формой-конусом.
8. Прибор ПСХ-2.
9. Машина МИИ-100 для испытаний образцов на изгиб.
10. Гидравлический пресс для испытаний образцов на сжатие.

Методика и порядок выполнения лабораторной работы

1. Приготовить портландцементы с различной удельной поверхностью ($300...500 \text{ м}^2/\text{кг}$) путем помола в лабораторной шаровой мельнице имеющегося заводского цемента в течение 0,1...1,5 часа.

2. Определить на приборе ПСХ-2 удельную поверхность портландцемента заводского изготовления и цемента после помола в лабораторной мельнице.

3. Определить следующие свойства цементов (заводского изготовления и после дополнительного помола): нормальную плотность и сроки схватывания цементного теста, нормальную консистенцию цементного раствора, прочность на изгиб и сжатие в возрасте 3, 7 и 28 суток по методике соответствующих ГОСТ.

Оформление работы:

1. Изложить теорию вопроса влияния тонкости помола на свойства портландцемента.
2. Описать порядок и методику определения свойств цемента.
3. Результаты испытаний свести в табл. 13.
4. Построить графики зависимости следующих свойств цемента от его удельной поверхности:
 - нормальной плотности;
 - сроков схватывания;
 - предела прочности на сжатие в возрасте 3, 7 и 28 суток.
5. Построить график зависимости предела прочности на сжатие от времени твердения для цементов с различными удельными поверхностями.
6. Сделать заключение о влиянии тонкости помола на свойства портландцементов.

Т а б л и ц а 13

Влияние удельной поверхности цемента на его свойства

№ п / п	Удельная поверхность, м ² /кг	Норм. плотность, %	Сроки схватывания, ч-мин		В/Ц рас- твора 1:3	Прочность образцов, МПа, через					
			начало	конец		3 суток		7 суток		28 суток	
						R _и	R _{сж}	R _и	R _{сж}	R _и	R _{сж}
1											
2											
3											

Контрольные вопросы

1. В чем причина зависимости свойств цемента от его удельной поверхности?
2. Почему повышение тонкости помола вяжущего оправданно до определенного предела?
3. Как определить нормальную плотность цементного теста?
4. Опишите методику определения сроков схватывания цементного теста.
5. На каком принципе основано определение удельной поверхности цемента на приборе ПСХ-2?
6. Почему прочностные показатели цементов с разной удельной поверхностью в большей степени различаются в начальные сроки?
7. Почему сроки схватывания цементного теста при увеличении его удельной поверхности сокращаются?
8. Опишите методику определения влияния тонкости помола цемента на его свойства.

Лабораторная работа 12

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЯ АКТИВНОСТИ ЦЕМЕНТА

Для эффективного использования цемента необходима точная и своевременная информация о его свойствах. Стандартный метод определения активности цемента не отвечает этим требованиям прежде всего из-за длительности испытаний – 28 суток. Получение результатов в столь поздние сроки не обеспечивает своевременного назначения составов цементных бетонов. Поэтому для получения оперативной и достоверной информации об активности цемента необходимо использовать экспресс-методы, позволяющие в течение нескольких часов получать результаты, сопоставимые с результатами стандартных испытаний цемента.

Цель работы: испытать несколько партий цементов экспресс-методами и определить сходимость результатов, полученных с использованием экспресс-методов и стандартного метода.

Приборы и материалы:

1. Прибор из серии «Рapid» для определения времени разогрева цементного теста.
2. Термометр.
3. Емкости для цементного теста.
4. Колбы вместимостью 1 л.
5. Мерные цилиндры на 50, 100 и 250 мл.
6. Штатив с бюреткой для титрования.
7. Три-пять партий портландцемента одного цементного завода.
8. Консистентная смазка.
9. Раствор соляной кислоты (0,1 нормальный).

Методика выполнения работы

1. Термокинетический метод определения свойств цемента «РАПИД»

Часть воды при затворении цемента адсорбируется на частицах цемента и гидратных новообразованиях в виде пленочной воды. Теория метода «РАПИД» основывается на предположении зависимости активности цемента от количества адсорбированной на поверхности частиц цемента воды. Для количественного определения адсорбции в данном методе используют различие в свойствах объемной и пленочной воды.

Для определения активности цемента необходимо установить статистическую зависимость между временем разогрева или охлаждения цементного теста до определенной температуры и активностью цемента, определенной по стандартной методике.

Для реализации метода существуют приборы различной конструкции. В лабораторной работе используется упрощенный вариант термокинетического метода [5], когда об активности цемента судят по скорости остывания цементного теста от 70 °С до комнатной температуры.

Для проведения испытаний 150 г цемента и 45 мл воды разогревают до $t = 80$ °С. Цемент тщательно и быстро перемешивают с водой, после чего цементное тесто помещают в специальную емкость и в него погружают термометр, предварительно смазанный консистентной смолой (солидоллом, циатимом и др.). С помощью секундомера определяют время остывания цементного теста от 70 до 25 °С.

Методика построения градуировочного графика и определения погрешности. Зависимость активности цемента от скорости остывания цементного теста рассчитывается по линейному уравнению

$$R_H = A + B \cdot \tau_0, \quad (1)$$

где R – активность цемента, МПа;

τ_0 – время остывания цементного теста, с;

A, B – эмпирические коэффициенты

Коэффициенты уравнения находятся по формулам:

$$A = \bar{R} - B \cdot \bar{\tau};$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i) \cdot (\bar{\tau} - \tau_i)}{\sum_{i=1}^n (\bar{\tau} - \tau_i)^2};$$

здесь \bar{R}, R_i – соответственно среднее значение и значение в i -м опыте активности цемента, определенного по методике ГОСТ 310.3–81;

$\bar{\tau}, \tau_i$ – соответственно среднее значение и значение в i -м времени остывания цементного теста.

Погрешность градуировочной зависимости оценивается величиной среднего квадратичного отклонения и определяется по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R}_i - R_i)^2}{N-1}}.$$

Градуировочная зависимость должна иметь среднеквадратичное отклонение S , не превышающее 12 % от R_{cp} , то есть должно выполняться следующее условие: $(S / \bar{R}) \cdot 100 \% \leq 12 \%.$

Градуировочная зависимость может быть найдена с помощью программы Microsoft Excel. Для этого полученные данные по определению прочности стандартным методом и ее косвенной характеристики (время нагревания и остывания цементного теста) вводятся в таблицу (рис. 13).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		t, сек	R, Мпа							
3		224	37,4							
4		296	43,4							
5		272	41,3							
6		254	40,4							
7		244	39,4							
8		281	42,4							
9		240	38,4							
10										
11										
12										
13										

Рис. 13. Таблица зависимости прочности от ее косвенной характеристики

Затем с помощью мастера диаграмм строят точечный график зависимости прочности R от времени нагревания (остывания) цементного теста t (рис. 14).

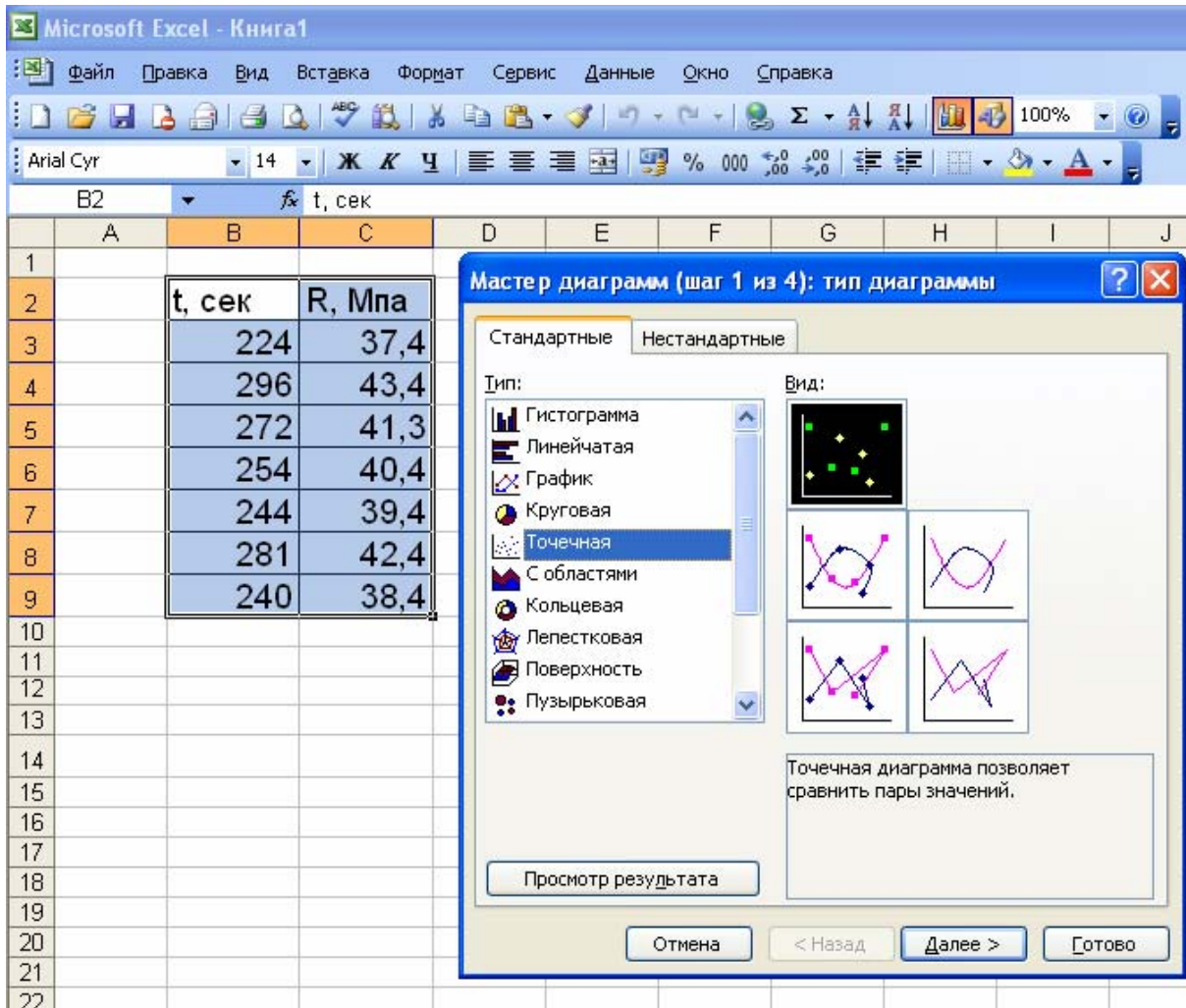


Рис. 14. Построение графика зависимости прочности от ее косвенной характеристики

На полученный график добавляют линию тренда линейного типа, выбирая в закладках «Параметры» опции «Показать уравнение на диаграмме» и «Поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации (R^2)». После выполнения этого действия на графике появится уравнение, в котором первый и второй коэффициенты – коэффициенты B и A уравнения (1), соответственно (рис. 15).

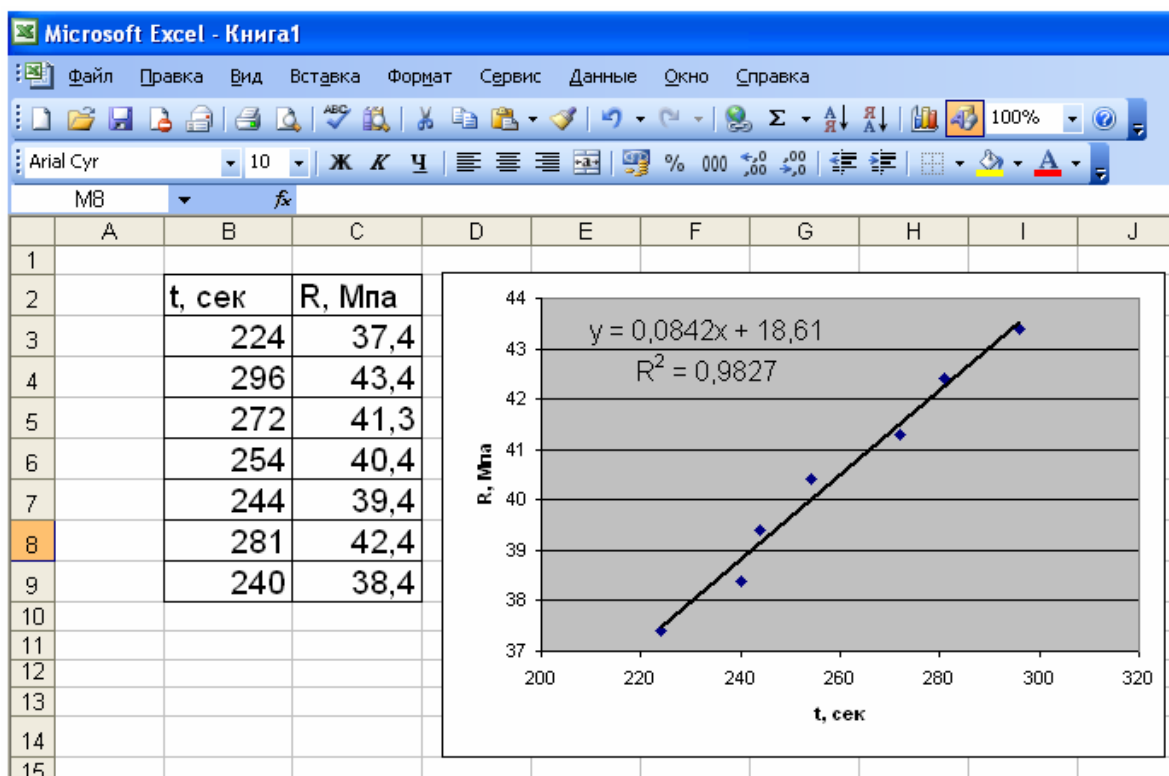


Рис. 15. Таблица, график и уравнение зависимости прочности от времени нагревания (остывания) цементного теста

2. Определение активности цемента по концентрации гидролизной извести

Метод определения активности цемента основан на выявлении действующего количества силикатных фаз – главных носителей его прочности. В качестве показателя этого количества используется концентрация гидролизной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяемой цементом после 5-часовой гидратации цементной суспензии при $t = 20^\circ\text{C}$. По интенсивности гидролиза силикатов в суспензии можно судить о химическом потенциале цемента.

Определение активности цемента по этому методу производят в такой последовательности:

1. В стеклянную колбу вместимостью 1 л с притертой пробкой заливают дистиллированную воду в количестве, рассчитанном по формуле

$$V = 8 \cdot K,$$

где K – нормальная густота цементного теста, %.

2. Отвешивают 10 г цемента, высыпают его в воду и отмечают в лабораторном журнале время затворения.

3. Колбу закрывают и при постоянном взбалтывании гидратируют цемент в течение 5 минут, после чего суспензии дают отстояться в течение последующих 5 минут. Осветленную жидкость осторожно сливают в мерный цилиндр вместимостью 250 мл.

4. Заливают в колбу дистиллированную воду в количестве, равном объему воды, слитой из колбы, и добавляют 0,5 г тонкомолотого полуводного гипса.

5. Колбу плотно закрывают и выдерживают в течение 5 часов при постоянном взбалтывании с интервалом в 15 минут. Суспензия должна иметь температуру 19...22 °С.

6. Через 5 часов часть суспензии (60...70 мл) быстро пропускают через бумажный фильтр, отбирают 25 мл фильтрата и переносят в колбу с 25 мл дистиллированной воды, добавляя 2–3 капли метилоранжа, затем титруют децинормальным раствором HCl до перехода желтой окраски в оранжевую. Активность цемента $R_{ц}$, МПа, рассчитывают по формуле

$$R_{ц} = 8 \cdot (n - 3,3),$$

где n – количество кислоты, израсходованной на титрование, мл.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Определить активность не менее 3-х партий цемента в соответствии с ГОСТ 310.3–81 «Цементы. Методы определения пределов прочности при изгибе и сжатии» ускоренными методами.

2. Рассчитать отклонения результатов, полученных экспресс-методом, от результатов стандартного метода.

Оформление работы:

1. Изложить теорию экспресс-методов определения активности цемента и последовательность выполнения работы.

2. Результаты определения активности стандартным и ускоренным методами, а также погрешность ускоренных методов записать в табл. 14.

3. Сделать выводы о погрешности экспресс-методов и возможности их использования в практической работе инженера строительной лаборатории.

Т а б л и ц а 14

Результаты определения активности цементов экспресс-методами

Номер партии цемента	Активность по стандартному методу	Активность по методу «Рапид»			Активность по концентрации гидролизной извести		
		τ , с	R , МПа	δ , %	n , мл	R , МПа	δ , %
1							
2							
3							

Контрольные вопросы

1. Почему стандартный метод определения активности цемента не имеет практического значения для назначения составов строительных растворов и бетонов?
2. В чем преимущества и недостатки экспресс-методов определения активности цемента?
3. На чем основана теория метода «Рапид» по определению активности цемента?
4. Почему теплотехнические характеристики цементного теста зависят от активности цемента?
5. Опишите методику построения тонирующей зависимости для определения активности цемента по ее косвенной характеристике.
6. На чем основана методика определения активности цемента по концентрации гидролизной извести?
7. Что может повлиять на точность определения количества гидролизной извести в цементной суспензии?
8. Каким показателем оценивается погрешность ускоренных методов определения активности цемента?

Лабораторная работа 13

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СКЛЕИВАНИЯ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ КЛЕЯМИ

Цель работы: ознакомиться с клеевыми материалами на основе органических и неорганических вяжущих и методикой оценки эффективности склеивания бетонов цементными, полимерцементными и органическими клеями.

Приборы и материалы:

1. Бетонные балочки 40×40×160 мм.
2. Портландцемент ПЦ 400, ПЦ 500 и песок, просеянный через сито № 0,65.
3. Поливинилацетатная эмульсия.
4. Эпоксидные смолы или другие полимеры.
5. Отвердители эпоксидного полимера: полиэтиленполиамин, гексаметилентетрамин, 3-диметиламинопропанол.
6. Отвердители из побочных продуктов производства димедрола и аминов (кубовый остаток от регенерации димедрола и др.).
7. Ацетон.
8. Весы технические с разновесами.
9. Формочки-трёхчатки без продольных перегородок.
10. Фарфоровые чашки, пестики и шпатели.
11. Машина МИИ-100 для испытания предела прочности на изгиб.

Методика и порядок выполнения лабораторной работы

1. Испытать балочки 40×40×160 мм на изгиб и записать значения $R_{изг}$.
2. Половинки балочек, предназначенные для склеивания цементными и полимерцементными клеями, увлажнить водой по поверхности скола.
3. Приготовить цементно-песчаные и полимерные растворы на просеянном через сито 0,65 мм песке и нанести их тонким слоем на поверхности разрушения балочек.
4. Примкнуть половинки балочек друг к другу, уложить на поддон формочек-трёхчаток и сжать торцевыми пластинами с помощью винта до выделения избытка клея из клеевого шва. При сдавливании половинок следить за их соосностью и совпадением граней без перегиба в месте контакта.
5. Приготовить два состава эпоксидных компаундов с отвердителем и нанести их на поверхности скола половинок балочек.
6. На поддоны трёхчаток уложить лист бумаги, затем – совмещенные половинки балочек и сдавить торцевыми пластинками в соответствии с п.4.
7. Формочки с балочками, склеенными цементно-песчаным и полимерцементным растворами, уложить в ванну с гидравлическим затвором для воздушно-влажного хранения, а балочки, склеенные эпоксидной смолой, хранить в воздушно-сухих условиях.

8. Балочки, склеенные эпоксидным компаундом, испытать на изгиб после хранения на воздухе в течение 1...2 суток, а балочки, склеенные цементно-песчаным раствором, – через 28 суток.

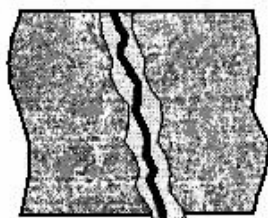
9. После испытаний занести в табл. 15 значения $R_{и}$, внимательно осмотреть поверхности разрушения и определить тип разрушения в соответствии со схемами, изображенными на рис. 16.

10. По отношению прочностей на изгиб исходных и склеенных балочек рассчитать коэффициент эффективности склеивания. Результаты экспериментов занести в таблицу, сделать выводы по работе о целесообразности использования того или иного клея. Записать возможные химические реакции и физико-химические процессы.

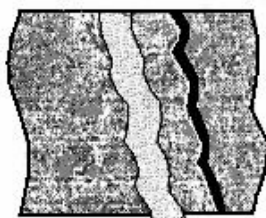
Т а б л и ц а 15

Содержание окислов, вносимых в расплав

№ п/п	Состав клеевой композиции	Прочность, МПа		Тип разрушения
		бетона	клеевого шва	
1				
2				
3				



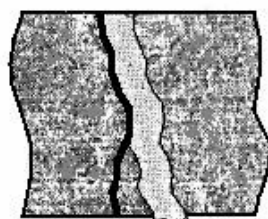
Когезионный
(по клею)



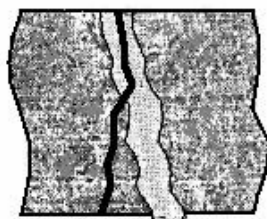
Когезионный
(по бетону)



Адгезионный



Адгезионно-
когезионный



Когезионно-
когезионный



Когезионно-
адгезионно-
когезионный

Рис. 16. Типы разрушения клеевых соединений

Оформление работы:

1. Изложить методику и последовательность выполнения работы.
2. Составы клеевых композиций и результаты испытаний занести в табл. 15.
3. Сделать выводы об эффективности различных типов клеевых составов.

Контрольные вопросы

1. Какие виды клеев Вам известны?
2. Какие типы разрушения склеенных поверхностей Вы знаете?
3. Как рассчитать коэффициент эффективности склеивания?
4. Опишите методику определения эффективности склеивания.
5. Как зависит прочность клеевого шва от его толщины?
6. Зависит ли прочность клеевого шва от чистоты склеиваемых поверхностей?

4. БЕСКЛИНКЕРНЫЕ ВЯЖУЩИЕ

Бесклинкерные гидравлические вяжущие в современной строительной индустрии представлены в основном вяжущими щелочной активации. Основным сырьем для производства таких вяжущих являются гранулированные доменные или электротермофосфорные шлаки. После измельчения такие шлаки твердеют при активации их щелочами – NaOH, KOH, кальцинированной содой, жидким стеклом, известью и гипсом.

Химический и минералогический состав доменных шлаков

Доменные шлаки имеют сходный с портландцементом химический состав, но в них меньше содержится CaO и больше SiO₂ (рис. 17). Минеральный состав шлаков зависит не только от валового содержания оксидов. На образование минералов значительное влияние оказывает скорость охлаждения шлака. При медленном охлаждении образуются так называемые отвалы шлаки, а при быстром – гранулированные.

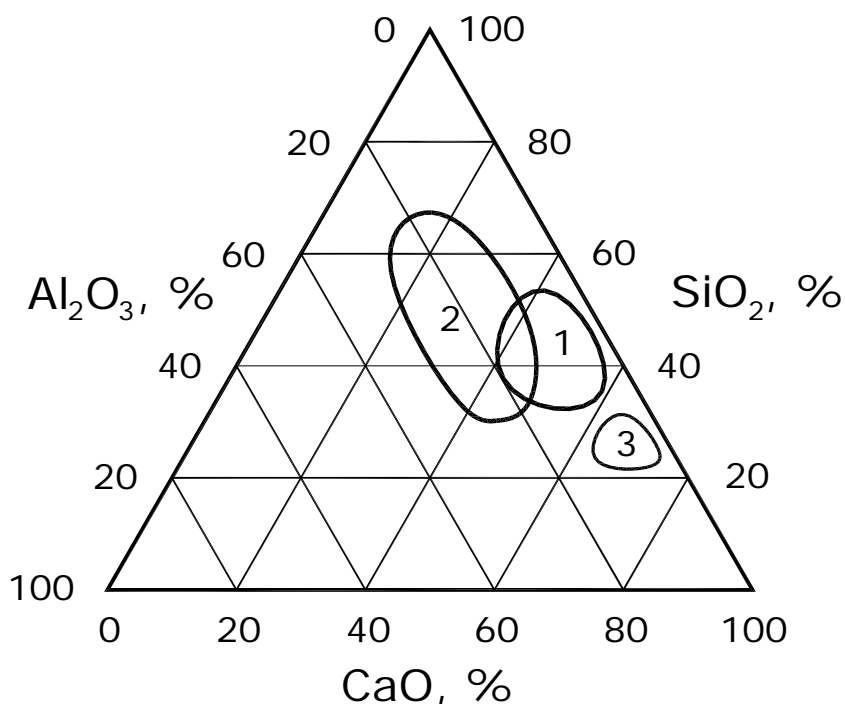


Рис. 17. Химический состав шлака (1) золы-уноса (2) и портландцемента (3) на диаграмме CaO–SiO₂–Al₂O₃

Степень гидравлической активности шлаков характеризуется модулем основности M_0 и коэффициентом качества K :

$$M_0 = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}; \quad K = \frac{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2},$$

где CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂ – содержание в шлаке оксидов, %.

В доменных медленноохлаждаемых закристаллизованных шлаках, как правило, CaO полностью связан с кремнеземом и глиноземом в соединениях меньшей основности, чем в цементном клинкере, с образованием преимущественно двухкальциевого силиката 2CaO·SiO₂, ранкинита 3CaO·2SiO₂, псевдоволластонита αCaO·SiO₂ и мелилита (твердые растворы геленита 2CaO·Al₂O₃·SiO₂ и окерманита 2CaO·MgO·2SiO₂). Если оксида кальция больше 44...46 %, то закристаллизованные шлаки приобретают склонность к силикатному распаду: куски и зерна шлака со временем самопроизвольно превращаются в порошок. Это явление обусловлено полиморфным превращением моноклинического двухкальциевого силиката β2CaO·SiO₂ в ромбический γ2CaO·SiO₂, происходящим при температуре ниже 525 °С и сопровождающимся уменьшением плотности.

Оксид магния в шлаках связывается преимущественно в устойчивые соединения (окерманит и др.) и поэтому не может вызывать неравномерных объемных изменений, что происходит иногда при твердении портландцемента из природного магнезиального сырья, содержащего, как правило, после обжига MgO в виде периклаза.

Оксид магния при обычном содержании его в шлаке (до 8...10 %) является в известной мере заменителем CaO и благоприятно влияет на гидравлическую активность шлаков. Ряд исследований свидетельствует о возможности использования доменных шлаков, содержащих до 15...20 % MgO, в производстве шлакопортландцемента, но с увеличением его содержания активность вяжущих снижается. Есть данные и о том, что с увеличением содержания MgO в шлаке уменьшается стойкость шлакопортландцементов по отношению к действию растворов MgSO₄·Al₂O₃ в шлаках связывается в соединения, обуславливающие их повышенную гидравлическую активность, особенно при одновременном значительном содержании CaO.

Кремнезема в шлаках всегда больше, чем в портландцементном клинкере. Шлаки с большим содержанием SiO₂ при охлаждении почти не кристаллизуются и застывают в виде стекла.

Расплавы кислых шлаков даже при медленном охлаждении из-за быстрого возрастания их вязкости кристаллизуются в незначительной мере и после отверждения представляют собой вещество со стекловидной структурой. При быстром охлаждении водой, водяным паром или воздухом расплавы основных шлаков кристаллизуются не полностью и имеют смешанную структуру.

В закристаллизованных доменных шлаках, содержащих до 4...6 % MgO и до 5...10 % Al₂O₃, обнаруживают обычно двухкальциевый силикат (β C₂S, γ C₂S), раикинит и мелилит с преобладающим содержанием гелеитовой составляющей.

Главными фазами в шлаках, содержащих 6...8 % MgO и 15...20 % Al₂O₃ (шлаки уральских металлургических заводов), являются преимущественно мелилит с преобладанием окерманитовой составляющей, а также ларнит C₂S и анортит CaO·Al₂O₃·SiO₂. Кроме того, в шлаках встречаются псевдоволластонит α CaO·SiO₂, мервинит 3CaO·MgO·2SiO₂, монтичеллит CaO·MgO·SiO₂, CaS, MnS.

В основных шлаках преобладают более основные соединения - 2CaO·SiO₂, 2CaO·Al₂O₃·SiO₂ и др., а в кислых – менее основные, например псевдоволластонит α CaO·SiO₂, анортит и др.

В шлаках, богатых MgO, присутствуют также форстерит 2MgO·SiO₂ и магнезиальная шпинель MgO·Al₂O₃.

В высокоглиноземистых шлаках специальных сортов чугунов содержатся алюминаты 5CaO·3Al₂O₃ или 12CaO·7Al₂O₃, CaO·Al₂O₃ и CaO·2Al₂O₃.

По современным представлениям, стекло, в том числе и шлаковое, не является аморфным, полностью изотропным веществом, как полагали раньше, представляя его в виде затвердевшей бесструктурной жидкости. В действительности, как показывают исследования, стекло характеризуется микронеоднородностью.

В соответствии с ионной теорией, жидкий шлак – это микронеоднородный расплав, состоящий из простых катионов (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Mn²⁺ и других катионов-модификаторов), анионов кислорода и серы, а также устойчивых комплексных анионов. Последние возникают при взаимодействии атомов кремния, алюминия, фосфора и других, так называемых стеклообразующих катионов с атомами кислорода, которые связываются с первыми ковалентными связями.

Комплексные анионы вида (SiO₄)⁴⁻, (AlO₄)³⁻ и т.д. представляют собой тетраэдр, в углах которого находятся центры атомов кислорода. В центре же тетраэдра между четырьмя атомами кислорода располагается атом кремния или алюминия. Своими свободными кислород-

ными связями комплексные анионы могут взаимодействовать как друг с другом, так и с катионами-модификаторами. Например, тетраэдры $(\text{SiO}_4)^{4-}$ могут образовывать политетраэдрические цепи типа $[(\text{SiO}_3)^{2-}]_n$, $[(\text{Si}^2\text{O}^5)^{2-}]_2$ и т.п. В них кремнекислородные тетраэдры могут замещаться тетраэдрами $(\text{AlO}_4)^{5+}$ и др. Катионы-модификаторы и комплексные силикатные анионы с общей формулой $(\text{Si}_x\text{O}_w)^{z-}$ образуют группировки, встречающиеся в расплавах. Эти сложные образования по своему строению приближаются к соответствующим кристаллическим веществам, например к Ca_2SiO_4 , CaSiO_3 и др.

Наибольшей активностью характеризуются группы, состоящие из простейших анионов $(\text{SiO}_4)^{4-}$, $(\text{AlO}_4)^{6-}$, разобценных катионами кальция, как в структуре ортосиликата. Образованию ортосиликатной структуры способствует присутствие в расплаве магния. Наличие марганца, снижающее активность групп, нарушает эту структуру.

С повышением температуры расплава происходит разрыв связей, группировки ионов становятся более мелкими и менее упорядоченными по строению и вместе с тем более реакционноспособными вследствие термодинамической неустойчивости. Подобные микронероднородные ионные группы в шлаковых расплавах при быстром охлаждении могут быть в той или иной степени зафиксированы в шлаковом стекле (гранулированные шлаки), а при достаточно медленном охлаждении из этих групп могут путем некоторой перегруппировки и агрегации образоваться кристаллические фазы затвердевшего шлака.

Шлаковые стекла, как и всякое стекло, не имеют определенной температуры плавления; при нагревании они постепенно размягчаются и переходят в жидкое состояние. Находясь в термодинамически неустойчивом состоянии, они проявляют способность кристаллизоваться. Однако кристаллизация тормозится высокой вязкостью при обычных температурах и малой подвижностью крупных анионных радикалов; поэтому при обычной температуре шлаковые стекла сохраняются в термодинамически неустойчивом состоянии неопределенно долгое время.

Шлакощелочные вяжущие

Щелочная активизация гранулированных доменных шлаков может достигаться не только введением в них извести, но и добавкой щелочей (NaOH и KOH), а также щелочных солей слабых кислот (сода, поташ, жидкое стекло).

Исследования показали возможность получения шлакощелочных бетонов высокой прочности на основе основных и кислых доменных шлаков. При этом выяснилось, что чем выше их основность, тем лучше прочностные и другие характеристики бетонов. Использование в качестве активизаторов едких щелочей экономически нецелесообразно, что предопределило применение на практике соды, содовых и содово-поташных отходов некоторых отраслей промышленности, а также жидкого стекла.

Основной компонент этих вяжущих – гранулированный доменный шлак – используют в виде тонкоизмельченного порошка, подобного цементу. Щелочи вводят в виде водных растворов в бетонные смеси непосредственно при их изготовлении. Растворимое стекло целесообразно применять с повышенным модулем n , равным отношению числа молекул кремнезема к молекулам R_2O . Растворимое стекло в сочетании с основными шлаками дает наилучшие результаты при химическом составе, характеризуемом молекулярным отношением $n = SiO_2/R_2O$ в пределах 1,7...2,2. При кислых шлаках целесообразно применять растворимое стекло с меньшим модулем $n = 1,2...1,5$. В бетонные смеси растворимое стекло обычно вводят в виде раствора плотностью 1,2...1,25 кг/л. Сода и содово-поташные материалы применяют в виде водных 15 %-х растворов плотностью 1,14...1,16 кг/л.

Твердение шлакоцементных комбинаций обусловлено гидратацией шлакового стекла под влиянием гидроксильных ионов с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция группы CSH (В), а также гидрогранатов и гидроалюмосиликатов натрия (при использовании соды и натриевого жидкого стекла).

Растворы пластичной консистенции состава 1:3 при нормальных условиях твердения достигают прочности при сжатии 20...25 МПа. При пропаривании в течение 8...12 ч при 90...95 °С прочность растворов и бетонов возрастает до 35...60 МПа, в зависимости от свойств шлаков, расхода шлакощелочного вяжущего и щелочного компонента. В частности, при применении растворимого стекла стеклошлаковое отношение достигает 0,3...0,35. Значительный расход растворимого стекла делает особо актуальной задачу всемерного использования для изготовления шлакощелочных бетонов отходов различных производств. Рассматриваемые вяжущие и бетоны (в особенности мелкозернистые на песках с повышенным содержанием глинистых частиц) применяют в производстве строительных изделий различного назначения.

Контрольные вопросы

1. На основе каких материалов могут быть получены бесклинкерные вяжущие?
2. Охарактеризуйте химический и минералогический состав шлаков, используемых для производства шлакощелочных вяжущих.
3. По каким формулам рассчитываются модуль основности и коэффициент качества шлака?
4. Чем отличаются медленно и быстроохлажденные шлаки?
5. Почему оксид магния в шлаках не вызывает неравномерного изменения объема в вяжущих?
6. Какие Вы знаете активаторы твердения шлаковых вяжущих?
7. В чем преимущества активаторов на основе соды и поташа?
8. Чем обусловлено твердение шлакощелочного вяжущего?

Лабораторная работа 14 ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ТВЕРДЕНИЯ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО

Шлакощелочное вяжущее получают на основе отходов производства – шлаков и щелочесодержащих побочных продуктов промышленности, свойства которых зависят от технологических процессов, при которых они образуются. Для определения пригодности промышленных отходов для производства строительных материалов на основе шлакощелочного вяжущего необходимо провести исследования различных свойств материалов, их способности достаточно быстро набирать высокую прочность.

Цель работы: исследовать влияние различных факторов на темпы твердения и прочность шлакощелочного вяжущего.

Приборы и материалы:

1. Чаши для затворения с лопатками.
2. Мерные цилиндры на 100 и 200 мл.
3. Лабораторная мельница.
4. Лабораторная виброплощадка.
5. Встряхивающий столик с формой-конусом.
6. Прибор ПСХ-2.
7. Машина МИИ-100 для испытания образцов.
8. Гидравлический пресс.
9. Формы 40×40×160 мм.

10. Шлак металлургический или электротермофосфорный молотый.

11. Раствор едкого натра, соды кальцинированной или других соединений щелочных металлов, в том числе в виде отходов производства.

12. Песок кварцевый или шлаковый песок, щебень.

Шлакощелочное вяжущее – гидравлическое вяжущее вещество, состоящее из двух компонентов: измельченного шлака и водных растворов соединений щелочных металлов – натрия и калия.

Для производства шлакощелочного вяжущего применяются доменные, ваграночные и электротермофосфорные шлаки, отвечающие требованиям ГОСТ [9], гранулированные шлаки цветной металлургии, в которых содержатся: SiO_2 – не более 40 %, $\text{CaO}+\text{MgO}$ – не менее 15 %, $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ – не более 40 %, а также смеси перечисленных шлаков. Тонкость помола шлаков должна соответствовать 300...350 $\text{м}^2/\text{кг}$. В целях ускорения набора прочности при твердении в нормальных условиях в состав шлака при помоле вводят портландцемент в количестве 1...7 % от массы шлака.

В качестве щелочного компонента применяют:

- едкий натр, гидрат окиси калия;
- соду кальцинированную, калий углекислый (поташ);
- силикат натрия растворимый, натрий кремнефтористокислый;
- смеси перечисленных веществ и промышленные отходы, содержащие эти соединения.

Количество щелочного компонента составляет 2,5...6,5 % в пересчете на Na_2O и 3,5...10 % в пересчете на K_2O от массы шлака.

Методы испытаний шлакощелочного вяжущего

Сроки схватывания и нормальную густоту теста определяют в соответствии с методикой [15]. При этом вместо воды затворения используют растворы соединений щелочных металлов.

Физико-механические испытания проводят по [16] со следующими изменениями:

- для определения прочностных характеристик вяжущего изготавливают образцы-балочки 40×40×160 мм из раствора, состоящего из трех весовых частей песка $M_{кр}$ 1...2,8 и одной весовой части шлака, при растворошлаковом отношении, обеспечивающем расплыв стандартного конуса на виброплощадке за 20 секунд в пределах 165...175 мм;

- образцы после изготовления твердеют в течение трех суток в воздушно-сухих условиях, а затем распалубливаются и хранятся в воде до испытаний.

Испытание твердения вяжущего при тепловлажностной обработке проводят по следующей методике. Образцы-балочки не ранее чем через 4 часа и не позднее чем через 12 часов с момента изготовления пропаривают в формах с прикрытой верхней поверхностью по режиму 3+6+3 часа при температуре изотермии 90...100 °С. Испытания предела прочности проводят через сутки после пропаривания.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. По заданию преподавателя исследовать влияние следующих факторов на кинетику твердения шлакощелочного вяжущего в нормальных условиях и его прочность после пропаривания: разновидности и тонкости помола шлака, количества и вида щелочного компонента, содержания в шлаке цемента.

2. Изготовить из каждого состава вяжущего по 6 образцов 40×40×160 мм для испытаний в возрасте 1,3,7 и 28 суток нормального твердения и через 1 и 28 суток после тепловлажностной обработки.

Оформление работы:

1. Изложить порядок выполнения работы.
2. Результаты испытаний записать в табл. 16.
3. Построить графики зависимости прочности различных составов шлакощелочного вяжущего от времени твердения.
4. Сделать выводы о влиянии различных факторов на кинетику твердения шлакощелочного вяжущего.

Таблица 16

Влияние количества щелочного компонента на свойства
шлакощелочного вяжущего

№ п/п	Количество щелочного компонента, %	Норм. густота, %	Сроки схватывания, ч-мин		В/Ц рас- твора 1:3	Прочность образцов, МПа, через					
			начало	конец		3 суток		7 суток		28 суток	
						$R_{и}$	$R_{сж}$	$R_{и}$	$R_{сж}$	$R_{и}$	$R_{сж}$
1											
2											
3											

Контрольные вопросы

1. Чем отличается методика определения прочности раствора на основе шлакощелочного вяжущего от методики определения свойств цемента?

2. В течение какого времени должны твердеть образцы на основе шлакощелочного вяжущего в воздушно-сухих условиях?

3. По какому режиму необходимо проводить тепловлажностную обработку шлакощелочных вяжущих?

4. Почему на шлакощелочные вяжущие не оказывает влияния непродолжительное замораживание?

5. Что можно ввести в шлак при помоле для ускорения его твердения?

6. Растворами каких веществ затворяют шлакощелочное вяжущее?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. ГОСТ 31108–2003. Цементы общестроительные. Технические условия. – М., 2003.
2. ГОСТ 30515–97. Цементы. Общие технические условия. – М., 1997.
3. ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М., 1985.
4. ГОСТ 125–79**. Вяжущие гипсовые. Технические условия. – М., 1979.
5. ГОСТ 30744–2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 30 с.
6. ГОСТ 4013–82. Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия. – М., 1982.
7. ГОСТ 25094–94. Добавки активные минеральные для цементов. Методы испытаний. – М., 1994.
8. ГОСТ 24211–2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М., 2008.
9. ГОСТ 3476–74. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов. – М., 1974.
10. EN 197–1:2000. Цементы. Часть 1: Состав, технические требования и критерии соответствия обычных цементов (Cement – Part 1: Composition, specifications and conforming criteria for common cements).
11. ГОСТ 9179–77*. Известь строительная. Технические условия.
12. ГОСТ 23789–79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
13. ГОСТ 310.1–76. Цементы. Методы испытаний. Общие положения.
14. ГОСТ 310.2–76. Цементы. Методы определения тонкого помола.
15. ГОСТ 310.3–76. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
16. ГОСТ 310.4–81. Цементы. Методы определения пределов прочности при изгибе и сжатии.
17. ГОСТ 3476–74. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов. Технические условия.
18. ГОСТ 4013–82. Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия.
19. ГОСТ 22688–77. Известь строительная. Методы испытаний.
20. ГОСТ 23789–79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.

21. ГОСТ 24640–91. Добавки для цементов. Классификация.
22. ГОСТ 25095–82. Добавки активные минеральные. Методы испытаний.
23. ГОСТ 26871–86. Материалы вяжущие гипсовые. Правила приемки, упаковки, маркировки, транспортирования и хранения.
24. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – М.: Стройиздат, 1979.
25. Сулименко, Л.М. Основы технологии вяжущих материалов. [Текст]: учеб. пособие / Л.М. Сулименко, В.Г. Савельев, И.Н. Тихомирова. – М.: РХТУ, 2001. – 167 с.

Дополнительная литература

1. Пащенко, А.А. Вяжущие материалы [Текст] / А.А. Пащенко, В.П. Сербин, Е.А. Старчевская. – Киев: Вища школа, 1975.
2. Stark, J., Mцser, V., Eckart, A. New approaches to cement hydration. Part 1, ZKG International, 54(1), 2001, pp. 52–60.
3. Stark, J., Mцser, V., Eckart, A. New approaches to cement hydration. Part 2, ZKG International, 54(2), 2001, pp. 114 – 119.
4. Лащенко, В.А. Ускоренные методы определения активности алюминатности цемента [Текст] / В.А. Лащенко, Н.В. Лащенко, . Бетон и железобетон. –1980. – № 11. – С. 27–28.
5. А.с. 1406479 СССР, МКИ С 01 G 33/38. Способ определения активности цемента / Г.И. Бердов [и др.] (СССР); № 4074090/31–33; Заявл. 02.06.86; Оpubл. 30.06.86, Бюл. № 24.
6. Кузнецова, Т.В. Физическая химия вяжущих веществ [Текст] / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1989.
7. Ерошкина, Н.А. Минерально-щелочные вяжущие [Текст]: моногр. / Н.А. Ерошкина, В.И.Калашников, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 152 с.
8. Коровкин, М.О. Эффективность суперпластификаторов и методология ее оценки [Текст]: моногр. / М.О. Коровкин, В.И. Калашников, Н.А. Ерошкина – Пенза: ПГУАС, 2012. – 142 с.
9. Русина, В.В. Минеральные вяжущие вещества на основе много-тоннажных промышленных отходов [Текст]: учеб. пособие. – Братск: БрГУ, 2007. – 224 с.
10. Глуховский, В.Д. Шлакощелочные вяжущие и бетоны [Текст] / В. Д. Глуховский. – Киев: Будивельник, 1978. – 280 с.
11. Глуховский, В.Д. Шлакощелочные цементы и бетоны [Текст] / В.Д. Глуховский, В.А. Пахомов. – Киев: Будивельник, 1978. – 184 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Характеристика суперпластификаторов

№ п/п	Наименование СП	Химическая основа	Производитель
1	С-3	Нафталинсульфокислота	ОАО «Оргсинтез», г. Новомосковск, Тульская область
2	Peramin SMF 20	Полимерный сульфомеламин	Perstorp Construction Chemicals Inc. Швеция
3	Peramin SMF 10		
4	Sika Viscocrete 105P	Эфир поликарбоксилата	Sika AG, Швейцария
5	Sika ViscoCrete 3 Neu	Раствор поликарбоксилата	
6	Sika ViscoCrete 5 Neu		
7	Sika 20HE		
8	Dynamon SR1	Модифицированный акриловый полимер	Mapei, Италия
9	Dynamon SR3		
10	Цемактив СУ-2	Нет данных	ООО «Цемактив», Санкт-Петербург
11	Glenium 27	Поликарбоксилатный эфир	BASF, Германия
12	Romex M(FM)	Полимерный сульфомеламин	Romex AG
13	Melment F10	Полимерный сульфомеламин	SKV Polymers GmbH, Германия
14	Melflux PP 100 F	Модифицированный полиэтиленгликоль	
15	Melflux PP 200 F		
16	Melflux PP 1641 F	Полиэфиркарбоксилат	
17	Melflux PP 5581		
18	Хидетал ГП 9γг с ускоряющим действием	Поликарбоксилатный эфир	ООО «СКТ-Стандарт», г. Новозыбков, Брянская область

Приложение Б

Химический состав шлаков

Шлак	Содержание оксидов, %											M_o	M_a	K_k
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ или (FeO)	CaO	MgO	SO ₃	MnO	TiO ₂	K ₂ O+Na ₂ O	п.п.п.	$\Sigma, \%$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Череповецкий металлургический комбинат (ОАО «Северсталь»)	34,4...38,9	7,1...10,3	0,55...7,05	35,0...44,4	8,4...12,5	–	0,15...0,69	0,47...1,59	–	0,67...0,92		1	0,25	1,41
Новотульский металлургический завод (ОАО «Тулачермет»)	36,78	9,13	3,82	46,25	6,86	3,25	2,5	–	–	–		1,04	0,31	1,67
ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат»	37,1	7,3	0,65	41,4	9,4	1,83	1,02		0,59+0,35	–		1,14		
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»	36,63	13,49	0,19	38,24	7,31	1,09	0,16	1,05	0,76+1,04	–		0,9		
ОАО «Челябинский металлургический комбинат»	38,8	11,9	0,5	38,4	10,5	0,67	0,4	–	–	0,5				

Окончание прил. Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Нижнетагильский металлургический комбинат (ОАО «ЕВРАЗ НТМК»)	34,58	13,63	0,79	36,97	7,66	0,36	–	1,1		–				
Нижнетагильский металлургический комбинат (титанистый)	29,58	17,57	2,43	31,64	10,35	0,23	0,98	8,2		–	99,98	0,9	0,6	1,58
ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»	36,2	11,2...15,9	0,6...2,6	38...42,2	4,8...9,9	0,4...1,2	0,2...1,1	1,1	0,13...0,17	0,1...1,5				
ОАО «Чусовской металлургический завод», Пермский край	31,5	15,1	1,04	31,5	0,3	0,63	–	7,1						
ОАО «Орско-Халиловский металлургический комбинат»	40,02	8,22	0,1	42,02	6,26	1,45	0,34	0,36				1,0		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВАХ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	7
Классификация строительных вяжущих.....	7
Механизм твердения вяжущих.....	8
2. ВОЗДУШНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	11
2.1. Гипсовые вяжущие	11
Лабораторная работа 1. ПОЛУЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО СВОЙСТВ	20
Лабораторная работа 2 (с элементами НИРС). ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА	22
Лабораторная работа 3 (с элементами НИРС). ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА	25
2.2. Известь воздушная	27
Лабораторная работа 4 (с элементами НИРС). ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ОБЖИГА НА ТЕМПЕРАТУРУ И ВРЕМЯ ГАШЕНИЯ ИЗВЕСТИ	27
2.3. Магнезиальные вяжущие.....	31
Лабораторная работа 5 (с элементами НИРС). ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЖИГА КАУСТИЧЕСКОГО ДОЛОМИТА НА ЕГО СВОЙСТВА.....	37
3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	40
Гидравлическая известь и романцемент	40
Лабораторная работа 6 (с элементами НИРС). ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛИНИСТЫХ ПРИМЕСЕЙ НА СВОЙСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ИЗВЕСТИ	41
3.1. Портландцемент	43
Лабораторная работа 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ	59
Лабораторная работа 8. ВЛИЯНИЕ АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА	62
Лабораторная работа 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЦЕМЕНТОВ.....	64
Лабораторная работа 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК.....	66
Лабораторная работа 11. ВЛИЯНИЕ ТОНКОСТИ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА НА ЕГО СВОЙСТВА.....	73

Лабораторная работа 12. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЯ АКТИВНОСТИ ЦЕМЕНТА.....	75
Лабораторная работа 13. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СКЛЕИВАНИЯ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ КЛЕЯМИ.....	81
4. БЕСКЛИНКЕРНЫЕ ВЯЖУЩИЕ.....	85
Химический и минералогический состав доменных шлаков.....	85
Шлакощелочные вяжущие	88
Лабораторная работа 14. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ТВЕРДЕНИЯ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО	90
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	93
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	96

Учебное издание

Калашников Владимир Иванович
Коровкин Марк Олимпиевич

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Редактор М.А. Сухова
Верстка Т.А. Лильп

Подписано в печать 10.04.13. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 5,81. Уч.-изд.л. 6,25. Тираж 80 экз.
Заказ № 89.



Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.