

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора

Самченко Светланы Васильевны

на диссертационную работу

Мин Хеин Хтет на тему «Получение сульфоалюминатного цемента и исследование его свойств», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Актуальность темы диссертации

Представленная диссертация посвящена актуальной и значимой проблеме снижения экологического следа строительной отрасли путем разработки новых видов цементов. На современном этапе развития общество все больше тяготеет к устойчивому развитию. И современные технологии производства строительных материалов должны обеспечивать охрану окружающей среды и сбережение природных ресурсов. Клинкер сульфоалюминатного цемента получают при более низких (1300-1350 °С), по сравнению с портландцементным, температурах, а сам цемент быстро твердеет и набирает высокую прочность, химическую стойкость и устойчивость к агрессивным средам. Однако для получения качественного сульфоалюминатного цемента необходимы дорогостоящие и дефицитные материалы – бокситы, каолины, технический глинозем. Вследствие этого промышленное производство сульфоалюминатных цементов (САЦ) ограничено экономически и по ресурсам. Поэтому практический интерес представляет разработка технологии сульфоалюминатного цемента с использованием отходов химической и металлургической промышленности, потенциально пригодных по химическому составу для производства данного специального цемента. А разработка составов САЦ с минеральными добавками позволит придать новые технические свойства сухим строительным смесям и бетонам, увеличить объемы производства цемента и снизить углеродный след выпускаемой продукции.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Результаты исследований, представленные в диссертационной работе, подтверждены различными стандартными методами оценки цементов, кроме того, полученные результаты не противоречат известным научным данным по схожим исследованиям. Для всех полученных измерений установлена погрешность методов.

Мин Хеин Хтет убедительно доказывает, что при использовании шлаков вторичной переплавки алюминия возможно получение сульфоалюминатного клинкера. Им установлены оптимальные параметры синтеза сульфоалюминатного клинкера при использовании различных сырьевых материалов и разработаны

оптимальные составы композиционных вяжущих на основе сульфоалюминатного клинкера и минеральных добавок.

Научная новизна

Уточнен механизм процессов минерало- и клинкерообразования, протекающих при синтезе САК в присутствии различных примесных элементов, заключающийся в том, что ионы Na^+ , K^+ , PO_4^{3-} , Cl^- взаимодействуют с промежуточными клинкерными фазами, образуя микроликвации, что приводит к снижению температуры образования сульфоалюмината кальция и майенита, а при охлаждении – внедряются в их кристаллические решетки, что приводит к повышению гидравлической активности.

Установлено, что лимитирующей стадией образования сульфоалюмината кальция при температуре 1350 °С является диффузия, кинетика процесса удовлетворительно описывается уравнениями Яндера и Ерофеева-Колмогорова. При снижении температуры обжига до 1250 °С увеличивается значение коэффициента «n» в уравнении Ерофеева-Колмогорова, что указывает на усиление влияния скорости химической реакции. Показано, что энергия активации процессов минералообразования для составов со шлаками вторичной переплавки алюминия значительно ниже, чем для традиционных систем с бокситом.

Научно обоснована и доказана целесообразность использования золы-уноса, доменного гранулированного шлака, известняка и метакеолина при получении композиционных вяжущих на основе сульфоалюминатного цемента. Определены оптимальные диапазоны их содержания, обеспечивающие повышение прочности, плотности и эксплуатационных характеристик цементного камня.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований

Теоретическая значимость работы заключается в дополнении представлений о закономерностях синтеза сульфоалюмината кальция при различных температурах в присутствии примесных элементов.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

- оптимизированы режимы получения сульфоалюминатного клинкера в зависимости от вида и количества примесных элементов;
- установлено, что применение сульфоалюминатных цементов с минеральными добавками обеспечивает высокую плотность и прочность камня в различные сроки твердения;
- разработаны оптимальные составы композиционных вяжущих на основе сульфоалюминатного клинкера и минеральных добавок;
- проведено опытно-промышленное апробирование результатов исследования, разработаны рекомендации по оптимальному вещественному составу композиций.

Достоверность и обоснованность результатов исследований, выводов и рекомендаций подтверждаются данными, полученным с использованием

современных методов анализа, воспроизводимостью экспериментальных данных, а также их согласованием с теоретическими положениями и литературными источниками. Результаты подтверждены статистической обработкой и апробацией на научных конференциях.

Основные положения работы представлены на Международном конгрессе по химии и химической технологии (Москва, 2022, 2023, 2024, 2025; Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых (Томск, 2022, 2023, 2024, 2025); Всероссийской конференции «Строительное материаловедение: настоящее и будущее» (НИУ МГСУ, 2023, 2025); III-Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии производства стекла, керамики и вяжущих материалов» (Ташкент, 2024).

По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 2 работы в рецензируемых научных изданиях, включенных в международную базу цитирования Chemical Abstract Service, и 1 статья в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов научных исследований.

Структура представленной работы:

Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов, 2-х приложений, списка литературы, включающего 230 источников литературы. Работа изложена на 195 страницах машинописного текста, включает 34 таблицы и 82 рисунка.

В главе 1 автором обобщены современные представления о получении сульфоалюминатного цемента, включая использование различных сырьевых компонентов, технологических параметров и режимов обжига. Особое внимание уделяется влиянию различных добавок и модификаторов на процессы формирования цемента и его физико-механические свойства. Показано, что добавки минерального и органического происхождения по-разному влияют на состав и соотношение фаз цементного камня. В связи с этим представляется перспективным проведение исследований в этом направлении для получения сульфоалюминатного клинкера из различных сырьевых компонентов и изучение цемента с различными минеральными добавками.

В главе 2 описаны характеристики исходных материалов, экспериментальное оборудование и методы исследования.

Глава 3 посвящена получению сульфоалюминатного клинкера и исследованию его свойств. Установлено, что использование вторичных материалов, таких как шлаки вторичной переплавки алюминия, позволяет заменить в сырьевой смеси дорогостоящие бокситы без ухудшения свойства получаемого клинкера. Показано, что сульфоалюминатный клинкер в исследуемых сырьевых смесях формируется уже при температуре 1250 °С при обжиге в течение 60 мин. При этом в зависимости от состава смеси клинкера содержат разное количество сульфоалюмината кальция.

Автором показано, что лимитирующей стадией процессов минералообразования сульфоалюминатного клинкера является диффузия, а кинетика описывается уравнениями Яндера и Ерофеева-Колмогорова. Энергия активации для клинкеров, синтезированных со шлаком вторичной переплавки алюминия, составляет 41–59 кДж/моль, а для клинкеров с бокситами изменяется от 206 до 512 кДж/моль. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при синтезе сульфоалюминатного клинкера целесообразно использовать шлаки вторичной переплавки алюминия.

Исследование свойств синтезированных сульфоалюминатных клинкеров показало, что водопотребность цементов не зависит от состава, в то время как на сроки схватывания сильно влияет состав алюминатной фазы. При образовании в клинкере майенита сроки схватывания довольно короткие: начало схватывания составляет 2-5 мин, конец – 19-21 мин. В клинкерах с преобладанием САК конец схватывания наступает через 46-64 мин, что является благоприятным фактором.

Проведенные испытания прочности цементных композиций показали, что наибольшие прочности в возрасте 28 сут наблюдается у составов, синтезированных с алюминатными шлаками – прочность при изгибе составляет 15-17 МПа, а при сжатии – 62-69 МПа. Полученные данные подтверждают перспективность использования промышленных отходов в производстве сульфоалюминатного клинкера, что способствует сокращению экологического воздействия и экономии природных ресурсов.

На основании полученных результатов на АО «Подольск Цемент» была выпущена опытно-промышленная партия сульфоалюминатного клинкера и цемента на его основе, которые соответствуют всем требованиям, предъявляемым к данным материалам.

В главе 4 приведены результаты исследования влияния примесных элементов на структуру и свойства эталонного сульфоалюминатного клинкера. Для изучения влияния примесных элементов было приготовлено 5 смесей с различным соотношением компонентов CaO , $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, в которые были добавлены KNO_3 , NaCl , CaHPO_4 , KCl и NaNO_3 в количестве 0,5-5,0 % от массы исходной смеси. Полученные результаты свидетельствуют о том, что устойчивая фаза сульфоалюмината кальция формируется при содержании гидроксида алюминия в сырьевой смеси от 60 мас. %. Введение в шихту микродобавок приводит к изменению скорости процессов минералообразования и может оказывать влияние на фазовый состав конечного продукта. Установлены составы и параметры обжига, при которых в клинкере образуется максимальное количества сульфоалюмината кальция. Изучены физико-механические свойства сульфоалюминатных цементов, синтезированных с примесными добавками.

В главе 5 приведены результаты исследования по влиянию вида и количества минеральных добавок – золы-уноса, известняка, доменного гранулированного

шлака и метакАОлина на свойства сульфОАлюминатных цементов. Показано, что использование сульфОАлюминатного цемента с минеральными добавками приводит к изменению свойств затвердевшего цементного камня. Прочность сульфОАлюминатного цемента при введении до 20 мас. % золы-уноса, известняка и доменного гранулированного шлака или до 10 % метакАОлина выше прочности бездобавочного цемента. Однако для каждой добавки существует свое оптимальное содержание добавок (зола – уноса – 10 мас. %, известняк – 5 мас. %, доменный гранулированный шлак – 20 мас. %, метакАОлин – 5 мас. %), при введении которых цементный камень характеризуется наибольшей прочностью, четкой качественной структурой и малой пористостью.

Глава 6 посвящена разработке составов ремонтного гидроизоляционного вяжущего. Для создания вяжущего исследовали композиции с разным содержанием сульфОАлюминатного и портландского цемента. Показано, что лучшими свойствами характеризуется состав, содержащий состав 10 % САЦ + 90 % ПЦ – прочность в возрасте 28 сут при изгибе составляет 8,5 МПа, а при сжатии – 56,9 МПа. Введение пластифицирующих добавок ведет к снижению водопотребности системы, снижению пористости и возрастанию прочности. При этом прочность растворной смеси с фракционированным песком составляет на 1-е сут твердения составляет 5,1-8,3 МПа при изгибе и 31,8-60,1 МПа при сжатии, увеличиваясь соответственно к 28 сут до 11,2-17,5 МПа и 82-100 МПа, в зависимости от соотношения вяжущее/песок. При этом линейная относительная деформация расширения составляет 0,2 мм/м; водопоглощение – 1,5-2,0 %, капиллярное водопоглощение – менее 0,10-0,15 кг/м²·ч^{0,5}. Полученные результаты позволяют разработанные составы считать перспективными для применения в ремонтных гидроизоляционных растворах.

В заключении сформулированы общие выводы по результатам проведенных исследований, а также даны рекомендации и дальнейшие перспективы исследований в данном направлении.

Замечания и рекомендации по диссертации и автореферату:

Недостатки работы

Несмотря на то, что работа в целом написана грамотно, последовательно и логично, в тексте диссертации и автореферата встречаются отдельные опечатки и неудачные формулировки, которые требуют редакторского уточнения. В ряде случаев наблюдаются избыточные повторы при изложении постановки задач и формулировке выводов, что несколько утяжеляет восприятие текста.

Замечания по существу работы

1. В работе представлено много графических зависимостей. Было бы целесообразно уточнить критерии подбора исходных смесей и более подробно обсудить выявленные различия между ними. Также графические материалы и таблицы, содержащие результаты определения нормальной густоты, сроков

схватывания и прочности цементов, нуждаются в более развёрнутом анализе взаимосвязи между параметрами синтеза и полученными физико-механическими характеристиками.

2. В разделе 3.3, посвящённом кинетике образования минералов при синтезе сульфоалюминатного клинкера, расчёты по уравнениям Яндера и Ерофеева–Колмогорова выполнены правильно, однако не объяснено, почему выбран температурный диапазон 1250–1350 °С.

3. Не четко представлен механизм образования сульфоалюмината кальция – следует указать, какой ион является покрывающим, а какой – покрываемым.

4. Не указаны химические составы золы-уноса и доменного гранулированного шлака.

5. При изучении свойств цементов с минеральными добавками не ясно, были ли проведены испытания данных составов на морозо- и коррозионную стойкость.

6. В Главе 6 приведены результаты исследования композиции сульфоалюминатного и портландского цементов с двумя пластифицирующими добавками. Не обоснован выбор таких добавок.

Сделанные замечания несколько не умаляют достоинства работы. Она выполнена на высоком научном уровне. Содержание автореферата полностью отвечает содержанию диссертационной работы. Диссертация полностью соответствует формуле паспорта специальности 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких металлических материалов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным положением о присуждении ученых степеней

Диссертация Мин Хеин Хтета на тему «Получение сульфоалюминатного цемента и исследование его свойств» является завершённой научно-квалификационной работой, отличающаяся актуальностью и внутренним единством, в которой на основании проведенных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значения для развития отрасли строительных материалов в Российской Федерации и Республике Союз Мьянма, а именно, разработаны составы специальных сульфоалюминатных цементов при использовании промышленных отходов – шлаков вторичной переплавки алюминия и оптимальные составы композиционных вяжущих на основе сульфоалюминатного клинкера и минеральных добавок.

Результаты диссертации получены на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровнях, с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и

экспериментально апробированы. Представленные в работе результаты принадлежат Мин Хеин Хтету, они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

Диссертационная работа соответствует критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 25.01.2024), с учетом соответствия паспорта специальности, а ее автор, **Мин Хеин Хтет**, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой строительного
материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский Московский государственный
строительный университет»

Адрес: 129337, Россия, г. Москва, Ярославское
шоссе, д. 26

Телефон: + 7 (916) 915-70-44

E-mail: SamchenkoSV@mgsu.ru

samchenko@list.ru

Сайт: <https://www/mgsu.ru/>

Самченко Светлана
Васильевна

С.В. Самченко
30.01.2026

Даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы,
связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

С.В. Самченко
подпись

Самченко Светлана Васильевна

Подпись д.т.н., профессора Самченко С.В. заверяю

Начальник ОКД ФГБОУ ВО

«Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет»

Пинегин Пинегин А.В.

