

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора

Саркисова Юрия Сергеевича

на диссертационную работу автор **Мин Хеин Хтет**

«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

Структура и содержание работы

Работа посвящена исследованию получения сульфоалюминатного клинкера при использовании природного сырья и техногенных отходов и сульфоалюминатного цемента с минералогическими добавками. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, приложения, списка литературы, включающего 230 источников. Работа изложена на 195 страницах машинописного текста, включает 34 таблицы и 82 рисунка.

Актуальность темы исследования

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. Для улучшения характеристик цементов и бетонов и снижения выбросов CO_2 при их производстве, необходима как разработка новых типов вяжущих, так и совершенствование существующих. Сульфоалюминатный цемент относится к специальным видам цементов. Клинкер сульфоалюминатного цемента получают при относительно низких температурах (1300-1350 °C), а полученный цемент характеризуется повышенными физико-механическими свойствами и долговечностью. До настоящего времени сырьем для получения сульфоалюминатного цемента с высоким содержанием основного минерала йелимита $\text{C}_3\text{A}_3\text{CS}$ были бокситы, каолины, технический глинозем, что ограничивало его производство. Использование же промышленных отходов при синтезе клинкера сульфоалюминатного цемента открывает новый путь к расширению выпуска специального цемента и будет способствовать созданию более высококачественных строительных материалов со специальными свойствами. Помимо этого, разработка составов сульфоалюминатных цементов 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

Представленные в диссертационной работе результаты выполнены с учетом современных достижений в области химии и технологии вяжущих материалов. Проведённые исследования апробированы в лабораторных и производственных условиях, а основные положения диссертации представлены на научных конференциях различного уровня.

Выводы и обобщения, сформулированные автором, основаны на достоверных экспериментальных данных, полученных с применением комплекса физико-химических и технологических методов анализа. Они отличаются логичностью, внутренней согласованностью и не противоречат существующим научным представлениям, при этом дополняют и развивают известные результаты, опубликованные в работах других исследователей.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Для обоснования цели и задач исследования соискатель провёл анализ 230 источника (отечественных и зарубежных) по теме работы.

Диссертационная работа Мин Хеин Хтет посвящена актуальной научно – технической проблеме создания экологически безопасных и энергоэффективных вяжущих материалов на основе сульфоалюминатного цемента. Исследование направлено на использование природного сырья, техногенных отходов и минеральных добавок для получения цементов с оптимальными и стабильными эксплуатационными свойствами.

В работе проведено всестороннее изучение влияния состава и соотношения компонентов на формирование фазового состава, структуру и свойства получаемых цементов. Автором установлены закономерности синтеза сульфоалюминатных фаз, раскрыты особенности их взаимодействия в процессе твердения, а также выявлены оптимальные соотношения компонентов, обеспечивающие получение материалов с высокими прочностными и долговечными характеристиками.

Полученные результаты обладают научной новизной и высокой практической значимостью, так как могут быть использованы при создании экологически эффективных и энергосберегающих строительных материалов. Работа отличается научной обоснованностью, логичностью изложения и достоверностью выводов.

Научная новизна диссертационной работы состоит в том, что 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 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.

Проверка результатов исследования

Автором представлены результаты опытно-промышленных испытаний, проведенных на АО «Подольск-Цемент» по выпуску сульфоалюминатного

клинкера. Разработаны рекомендации по выпуску ремонтной гидроизоляционной сухой строительной смеси.

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 12 научных работ, в том числе 2 работы в рецензируемых научных изданиях, включенных в международную базу цитирования Chemical Abstracts, и 1 статья в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов научных исследований.

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.

Достоинства работы

Автором проведен широкий комплекс исследований, направленных на разработку оптимальных составов сырьевых смесей при получении сульфоалюминатного клинкера и уточнение технологических параметров его синтеза. В работе выявлены закономерности формирования основных сульфоалюминатных фаз в зависимости от минерального состава исходных материалов и температуры обжига. Проведён анализ кинетических особенностей процессов минералообразования, показана применимость различных кинетических уравнений для описания реакций синтеза клинкера и показано, что кинетика процесса наиболее точно описывается уравнениями Яндера и Ерофеева–Колмогорова. Установленные значения энергии активации отражают различие механизмов протекания реакций при использовании природного и техногенного сырья.

К числу безусловных достоинств диссертационной работы следует отнести её актуальность и научную новизну, связанную с решением задачи снижения энергоёмкости и экологической нагрузки цементного производства путём замещения природных сырьевых компонентов техногенными материалами. В диссертационной работе обоснована целесообразность использования шлаков вторичной переработки алюминия в качестве эффективной замены бокситов и применение фосфогипса при получении сульфоалюминатного клинкера. Установлено, что применение данного вида техногенного сырья не оказывает отрицательного влияния на фазовый состав и свойства получаемого продукта, обеспечивая при этом снижение энергоёмкости и себестоимости технологического процесса. Автором определены оптимальные составы сырьевых смесей и режимы обжига, позволяющие получать клинкер стабильного качества при более низких температурах по сравнению с традиционной технологией. На основе полученных закономерностей на АО «Подольск» была проведена опытно-промышленная проверка по выпуску сульфоалюминатного клинкера и исследованию его свойств.

Автором впервые получены и экспериментально подтверждены данные о влиянии ионов Na^+ , K^+ , PO_4^{3-} и Cl^- на процессы минерало- и клинкерообразования при синтезе сульфоалюминатного цемента. Уточнены механизмы их участия в формировании фазового состава клинкера, что имеет существенное значение для развития научных представлений о закономерностях минералообразования в подобных системах.

В диссертационной работе показано, что введение минеральных добавок оказывает положительное влияние на физико-механические характеристики сульфоалюминатного цемента. Установлено, что применение золы-уноса, известняка, доменного гранулированного шлака и метаксаолина в определённых количествах способствует повышению прочности и совершенствованию структуры цементного камня. Для каждой из добавок определено оптимальное содержание, обеспечивающее достижение максимальных прочностных показателей и минимальной пористости затвердевшего материала: 10 мас. % золы-уноса, 5 мас. % известняка, 20 мас. % доменного гранулированного шлака и 5 мас. % метаксаолина.

Автором представлены результаты опытно-промышленных испытаний, направленных на разработку композиционных вяжущих для ремонтных и гидроизоляционных составов на основе сочетания сульфоалюминатного цемента и портландцемента. Установлено, что введение 10 % сульфоалюминатного цемента в состав портландцемента обеспечивает оптимальные сроки схватывания и высокие прочностные показатели затвердевшего вяжущего. Применение пластифицирующих добавок Melflux 4930 и Melment F-10 способствует снижению

водопотребности системы, формированию плотной структуры и достижению прочности цементного камня при сжатии в возрасте 28 сут до 100 МПа. Показано, что оптимальным соотношением вяжущего и песка является 50 % : 50 %, при этом достигаются наилучшие физико-механические характеристики, высокая водоудерживающая способность и низкое водопоглощение. Полученные результаты подтверждают перспективность разработанных составов для применения в ремонтных и гидроизоляционных смесях.

Большое число используемых физико-химических и технологических методов исследования продуктов твердения, а также эксплуатационных свойств цементного камня, завершившихся опытно-промышленной проверкой, абсолютно убеждает в надёжности и достоверности проведённых исследований, в их научной и практической значимости.

Недостатки работы

Несмотря на высокий уровень выполненной работы, в диссертации и автореферате имеются отдельные недочёты, носящие в основном редакционно-технический характер. В отдельных местах встречаются незначительные опечатки и стилистические неточности, требующие уточнения при окончательном оформлении текста.

Отмечается также некоторая избыточность в изложении постановки задач и выводов, что частично снижает динамику восприятия материала. При представлении экспериментальных данных не во всех случаях приведены сведения о погрешностях измерений и статистической обработке результатов, что ограничивает возможность объективной оценки достоверности отдельных количественных показателей.

Замечания по существу работы

1. В главе 3 на стр. 57, 59–61 63–64 приведены рисунки 3.7-3.12 с результатами рентгенофазового анализа и данными о минералогическом составе сульфоалюминатных клинкеров, полученных при разных температурах обжига. Однако в тексте отсутствует детальное обсуждение причин изменения содержания основных фаз и побочных соединений. Следовало бы пояснить влияние состава сырьевой смеси на формирование сульфоалюмината кальция и майенита, а также указать, почему при одинаковых условиях обжига наблюдается различие в фазовом составе.

2. В таблицах 3.7-3.8 и на рисунке 3.28 представлены результаты испытаний цементов на основе полученных клинкеров. Вместе с тем в тексте отсутствует анализ взаимосвязи между фазовым составом и физико-

механическими характеристиками цементов. Следовало бы обсудить, как содержание фаз C_2S , $C_4A_3\hat{S}$ и $C_1\hat{A}_7$ влияет на сроки схватывания и прочность при сжатии, что позволило бы глубже обосновать практическую значимость результатов.

3. В главе 4 исследуется влияние различных добавок (KNO_3 , $NaCl$, $CaHPO_4$, KCl , $NaNO_3$) на синтез сульфоалюминатного клинкера. Однако не четко дано научное обоснование выбора именно этих соединений, хотя в рамках исследования могло быть важным и влияние других примесей. Более четкое объяснение того, почему были выбраны добавки, имеющие ионы K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , и каков был прогнозируемый механизм их воздействия на процесс клинкерообразования, значительно бы повысило теоретическую значимость представленных результатов.

4. В диссертационной работе приведено много результатов определения прочностных показателей при изгибе и сжатии в разные сроки твердения различных композиций. Однако не указано, в каких условиях были заформованы образцы и как их хранили. Не указана температура и влажность в помещении, где образцы цемента набирали прочность (твердели).

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Мина Хеин Хтета.

Диссертация полностью соответствует формуле паспорта специальности 2.6.14 Технология силикатных и тугоплавких металлических материалов.

Заключение

Диссертационная работы Мина Хеин Хтета «Получение сульфоалюминатного цемента и исследование его свойств» является завершенной 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), 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 химии

Федерального государственного

бюджетного образовательного

учреждения высшего образования

«Томский государственный

архитектурно-строительный

университет» (ФГБОУ ВО «ТГАСУ»)

Адрес: 634003, г. Томск, пл. Соляная, д. 2

Телефон: +7 (3822) 65-09-07, сот. тел. +7 962 776 25 51

E-mail: sarkisov@tsuab.ru

Сайт: <https://www.tsuab.ru/>

Саркисов Юрий Сергеевич

« 6 » февраля 2026 г.

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

подпись

Саркисов Юрий Сергеевич

Подпись д.т.н., профессора Саркисова Ю.С. заверяю

Ученый секретарь ФГБОУ

ВО «Томский государственный

архитектурно-строительный

университет»



подпись

Какушкин Ю. А.