



Ҷумҳурии Тоҷикистон, 734003, ш. Душанбе,
к. Х. Ҳакимзода, 17
Тел.: (992-372) 24-26-20, 44-600-39-01

Республика Таджикистан, 734003, г. Душанбе,
ул. Х. Хакимзаде, 17
E-mail: inmet.talco@mail.ru

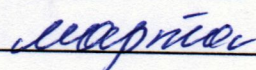
«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Государственного учреждения

«Научно-исследовательский институт
металлургии» открытого акционерного
общества «Таджикская алюминиевая
компания», кандидат технических наук



 Наимов Н.А.

« 10 »  2026 г.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Олимова Насрулдина Солиховича на тему: «Особенности окисления расплавов элементов подгруппы кремния с алюминием и щёлочно-земельными металлами и свойства их сплавов», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Актуальность темы диссертации

Несмотря на значительный прогресс в материаловедении, в частности в области создания новых сплавов и композиционных материалов, превосходящих по свойствам силумины, последние ещё длительное время будут занимать ведущие позиции во многих отраслях промышленности. Это обусловлено их относительно низкой стоимостью и возможностью широкого использования вторичного сырья при производстве.

Современные требования к технике становятся всё более жёсткими, что требует повышения качества литых деталей. Учитывая высокие объёмы потребления алюминиево-кремниевых сплавов, борьба даже за сравнительно небольшое улучшение их качества является оправданной.

Литейные алюминиево-кремниевые сплавы (силумины) относятся к эвтектическим сплавам и широко применяются как конструкционные материалы. Благодаря хорошей технологичности, высокому уровню физических, механических свойств и коррозионной стойкости они успешно конкурируют с чёрными металлами, вытесняя их из традиционных сфер применения – автомобильного и текстильного машиностроения.

Важнейшими характеристиками силуминов, определяющими их технологичность и области применения, являются физико-химические и литейно-технологические свойства, которые зависят от структуры и фазового состава. Отсутствие в литературе сведений о физико-химических, механических и коррозионных свойствах алюминиевых сплавов Al-Ge, Al-Si, Al-Si₉ с щёлочноземельными металлами побудило к изучению их структурообразования, тепловых, термодинамических, кинетических и коррозионно-электрохимических характеристик, а также к разработке новых коррозионностойких сплавов для различных отраслей промышленности, в частности машиностроения.

В процессе плавки расплавленный алюминиевый сплав взаимодействует с компонентами печной атмосферы. Полностью исключить окисление алюминия невозможно, поскольку реакция протекает при весьма малых парциальных давлениях кислорода. Только знание физико-химических особенностей процесса окисления алюминиевых сплавов позволяет регулировать его, что во многом определяется толщиной оксидного слоя барьерного типа.

Силумины широко применяются в литейных композициях на основе алюминия и используются как конструкционные материалы для фасонного литья в различных отраслях промышленности – авиастроении, транспорте, строительстве, производстве тракторов и др. Однако по прочностным и пластическим характеристикам они уступают другим сплавам, поскольку их структура содержит интерметаллические фазы и грубые хрупкие включения кремния. Для промышленных литейных алюминиевых сплавов улучшение структуры и механических свойств возможно за счёт регулирования режимов плавления и литья, а также условий кристаллизации (литьё под давлением, в металлические или песчаные формы и т.п.).

Одним из наиболее результативных факторов, способствующих благоприятному структурообразованию силуминов, является метод модифицирования – измельчение структуры расплава путём введения перед заливкой небольших количеств модифицирующих компонентов. Наиболее распространённым модификатором эвтектических и доэвтектических силуминов является металлический натрий и его соединения, которые надёжно обеспечивают измельчение важнейшей структурной составляющей этих сплавов – алюминиево-кремниевой эвтектики.

Цель исследования. Целью диссертационной работы является установление кинетических и энергетических характеристик процесса окисления расплавов элементов подгруппы кремния с алюминием и щёлочноземельными металлами, а также разработка новых коррозионностойких сплавов на их основе для применения в различных отраслях техники.

Научная новизна исследования. Научная новизна исследования заключается в изучении кинетики окисления двойных сплавов алюминия с кремнием, германием и оловом. Показано, что окисление протекает в основном по параболическому закону с диффузионными затруднениями. Определены кинетические и энергетические характеристики процесса окисления расплавов в полном концентрационном интервале. Установлено уменьшение величины кажущейся энергии активации окисления при переходе от сплавов с кремнием к сплавам с оловом и, тем самым, рост истинной скорости окисления у сплавов. Идентифицированы продукты окисления расплавов систем Al-Si, Al-Ge и Al-Sn и определена их роль в процессе окисления.

Экспериментально установлено, что процессы окисления расплавов щёлочноземельных металлов (ЩЗМ) с кремнием и германием протекают в основном по параболическому закону с диффузионными затруднениями. Найдены концентрационные зависимости характеристик процесса окисления расплавов систем ЩЗМ-Si. Изучены продукты окисления расплавов систем ЩЗМ-Si (Ge), определена их роль в процессе окисления.

- получены математические модели температурных зависимостей теплоёмкости и термодинамических функций (энтальпия, энтропия, энергия Гиббса) для сплава АК9 с ЩЗМ;
- определены энергетические и кинетические характеристики процесса окисления алюминиевого сплава АК9 с ЩЗМ, показано, что окисление сплавов подчиняется гиперболическим уравнениям;
- расшифрованы продукты окисления сплавов и показана их роль в формировании механизма окисления сплавов;
- установлены основные электрохимические параметры процесса коррозии алюминиевого сплава АК9 с ЩЗМ и влияние концентрации хлорид-иона на скорость коррозии сплавов и анодный механизм процесса.

Практическая значимость исследования. На основе проведённых исследований соискателем установлены выборы оптимальных составов сплавов с наименьшей скоростью окисления для нужд новой техники. Определена оптимальная добавка стронция как модификатора структуры промышленных литейных алюминиевых сплавов марок АЛ-2, АЛ-9, АЛ-4. Выполненные научные исследования послужили научной основой для разработки состава нового сплава алюминий-стронций, дополнительно легированного бериллием, обладающего минимальной окисляемостью (Малый патент РТ № ТЖ 519 от 14.06.2012).

Разработан состав и внедрена технология получения сплавов на основе бария, легированных алюминием, кремнием, титаном, в условиях Исфаринского предприятия «Тамохуш» Республики Таджикистан (Малый патент РТ № ТЖ 694 от 4.06.2015). Разработана технология получения сплава «Альба» определённого гранулометрического состава, устойчивого к окислению, и передана предприятию п/я Ф-7734.

Установлены температурные зависимости теплоёмкости, коэффициента теплоотдачи и термодинамических функций алюминиевого сплава АК9 с ЩЗМ, которые пополняют страницы соответствующих справочников.

Основные положения, выносимые на защиту:

- закономерности окисления расплавов систем Al-Si, Al-Ge, Al-Sn, ЩЗМ-Si (Ge);

- результаты расшифровки продуктов окисления расплавов алюминия с кремнием, германием, оловом и ЦЗМ-Si (Ge);
- кинетические и энергетические характеристики процесса окисления промышленных силуминов, модифицированных стронцием, и алюминиево-стронциевой лигатуры, легированной бериллием;
- результаты исследования температурных зависимостей теплоёмкости и изменения термодинамических функций алюминиевого сплава АК9 с ЦЗМ;
- полученные энергетические и кинетические характеристики процесса высокотемпературного окисления алюминиевого сплава АК9 с ЦЗМ и механизм окисления сплавов;
- основные характеристики процесса анодной коррозии алюминиевого сплава АК9 с ЦЗМ и его концентрационные зависимости в среде электролита NaCl;
- состав стабильного сплава бария с алюминием;
- разработанный технологический процесс получения расплавов оптимального состава и результаты опытно-промышленных испытаний.

Общие принципы построения и структура работы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и приложения, изложена на 323 страницах компьютерного набора, включает 151 рисунок и 92 таблицы. Список использованной литературы включает 170 наименований.

Во введении изложены предпосылки и основные проблемы исследования, обоснована актуальность темы, приведены задачи исследования, научная новизна и практическая ценность работы, а также выделены основные положения, выносимые на защиту, и в целом раскрыта структура диссертации.

В первой главе рассмотрены имеющиеся в литературе сведения о характере взаимодействия компонентов в системах алюминий-кремний (германий, олово) и оксида алюминия с оксидами элементов подгруппы кремния. Рассмотрены особенности окисления алюминиевых сплавов с металлами IV группы Периодической таблицы Д.И. Менделеева. Изучение литературных источников показало, что сведения об окислении сплавов

алюминия с элементами подгруппы кремния, за исключением отдельных составов, отсутствуют. Дана характеристика структуры и свойств сплавов систем ЦЗМ-Si, ЦЗМ-Ge и физико-химическая оценка взаимодействия оксидов ЦЗМ с оксидами кремния и германия. Изучение литературных источников показало, что сведения об окислении сплавов систем ЦЗМ-Si и ЦЗМ-Ge, за исключением системы Ba-Si, отсутствуют.

Описаны особенности модифицирования алюминиево-кремниевых сплавов натрием и стронцием; приведены сведения о теплоёмкости алюминия, кремния и щёлочноземельных металлов; особенности окисления и коррозионно-электрохимическое поведение силуминов с различными элементами. На основе выполненного обзора показано, что теплофизические свойства алюминия, кремния и щёлочноземельных металлов хорошо изучены. Имеются сведения о влиянии температуры и чистоты металлов на их тепловые и теплофизические свойства. Однако в литературе отсутствует информация о физико-химических свойствах, коррозионно-электрохимическом поведении и особенностях окисления алюминиевого сплава АК9 с кальцием, стронцием и барием.

Во второй главе приведены результаты исследования кинетики окисления расплавов систем алюминий-кремний, алюминий-германий, алюминий-олово. Анализ характера окисления элементов IVA подгруппы показывает, что наблюдается стройная зависимость кажущейся энергии активации от заряда ядра элемента, то есть при переходе от кремния к олову закономерно уменьшается величина кажущейся энергии активации. Это свидетельствует о росте металлических свойств олова и о его высоком сродстве к кислороду атмосферы по сравнению с кремнием и германием.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию кинетики окисления расплавов систем щёлочноземельный металл-кремний (германий). Показано, что при определении механизма окисления особая роль отводится оксидным плёнкам, формирующимся в процессе окисления над поверхностью расплавов. Так, анализ продуктов окисления расплавов систем ЦЗМ-кремний и ЦЗМ-германий свидетельствует о существенной роли фазового состава оксидных плёнок в кинетике процесса.

Показана определённая связь между соотношением компонентов в сплаве и в оксидных плёнках. При формировании сложных оксидов на поверхности интерметаллидов с увеличением доли кремния (германия) в составе интерметаллического соединения растёт его содержание в составе оксида. Оксиды сложных составов обладают более высокими защитными свойствами, чем простые оксиды, о чём свидетельствуют значения кажущейся энергии активации окисления интерметаллидов.

В четвёртой главе приведены результаты экспериментального исследования влияния добавок щёлочноземельных металлов на кинетику окисления алюминиево-кремниевых и алюминиево-германиевых расплавов. Также исследовано влияние добавок стронция на кинетику окисления расплавов промышленных литейных алюминиевых сплавов АЛ-2, АЛ-4 и АЛ-9.

Результаты исследования для сплавов АЛ-2, АЛ-4 и АЛ-9 свидетельствуют, что добавки стронция, как модификатора литейных алюминиевых расплавов, в некоторой степени увеличивают их окисляемость.

Модифицирование стронцием алюминиево-германиевого эвтектического сплава (Al + 51,6 % Ge) способствует росту скорости его окисления, о чём свидетельствует уменьшение величины кажущейся энергии активации: от 213,28 кДж/моль для немодифицированного сплава до 45,26 кДж/моль для сплава, содержащего 0,1 мас.% стронция.

Показано, что добавки бериллия в количествах 0,005-0,05 мас.% могут быть применены для защиты от окисления алюминиево-стронциевой лигатуры, так как при модифицировании отмечается рост величины кажущейся энергии активации окисления. Энергия активации процесса изменяется от 67,82 кДж/моль для нелегированного сплава до 111,4 кДж/моль для сплава, содержащего 0,05 мас.% бериллия.

Порошковые сплавы «Альба» (Al55Ba) также подвергались испытаниям на влагоёмкость. Последняя характеризует совокупность процессов, происходящих при контакте сплава с влажным воздухом (или средой, содержащей пары воды), и приводящих к переносу влаги в массу порошка. Влагоёмкость определяли при комнатной температуре и относительной влажности 65 %.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что наиболее устойчивыми к действию влаги являются сплавы, содержащие 1-10 ат.% кремния или магния. Экспериментальные данные показывают, что добавки кремния, магния и титана повышают стабильность и устойчивость к действию влаги порошков интерметаллида BaAl_4 .

В пятой главе рассмотрены результаты изучения температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций, кинетики окисления и электрохимического поведения алюминиевого сплава АК9, модифицированного кальцием, стронцием и барием.

Показано, что с ростом температуры теплоёмкость, энтропия и энтальпия сплавов увеличиваются, а величина энергии Гиббса уменьшается. Теплоёмкость сплавов до температуры 600 К при переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием растёт, далее – к сплавам с барием уменьшается. В интервале температур 500-600 К при переходе от сплавов с кальцием к сплавам с барием наблюдается рост теплоёмкости.

Энтальпия и энтропия сплавов с ростом концентрации ЦЗМ в сплаве АК9 в целом увеличиваются. Изменения термодинамических функций алюминиевого сплава АК9 в результате модифицирования ЦЗМ объясняются ростом степени гетерогенности структуры сплавов вследствие модификации их структуры.

Рекомендации по использованию результатов исследования

Автором в диссертационной работе решена научная проблема в области разработки сплавов элементов подгруппы кремния с алюминием и щёлочноземельными металлами. Результаты рецензируемой работы особенно важны при решении технологических вопросов и разработке модифицированных сплавов алюминия с дальнейшим использованием их в области машиностроения и автомобилестроения для производства кузовных деталей, дисков, деталей двигателя, особенно для изготовления фасонных деталей, где они обладают хорошими литейными свойствами, высокой коррозионной стойкостью и улучшенными механическими характеристиками.

Ведущая организация рекомендует использовать результаты диссертационной работы в машиностроительных предприятиях Министерства

промышленности и новых технологий Республики Таджикистан, Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан, а также в высших учебных заведениях Министерства образования и науки Республики Таджикистан. Кроме того, результаты исследования могут быть применены в машиностроительных и металлургических предприятиях стран Содружества Независимых Государств.

Основные результаты, положения и выводы, изложенные в диссертации, нашли отражение в 60 научных публикациях автора. Из них 3 монографии и 19 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации, таких как «Металлы», «Расплавы», «Вестник Саратовского государственного технического университета», «Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева», «Вестник Таджикского национального университета», «Известия Академии наук Республики Таджикистан», «Доклады Академии наук Республики Таджикистан», а также «Вестник Таджикского технического университета им. М. С. Осими». Кроме того, 32 статьи опубликованы в материалах международных и республиканских научных конференций. По теме диссертационной работы получено также шесть малых патентов Республики Таджикистан.

Все результаты, полученные диссертантом, являются новыми, выводы сформулированы аргументированно. Основные положения диссертационной работы отражены в автореферате, а публикации раскрывают их содержание.

Диссертация Олимова Насруддина Солиховича соответствует паспорту научной специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки) по следующим пунктам: 1, 2, 3, 4, 10, 16.

Замечания по диссертационной работе

Тем не менее, при чтении автореферата и диссертационной работы Олимова Насруддина Солиховича возникли некоторые замечания:

1. В диссертации не приводится оценка экономической целесообразности использования предлагаемых сплавов в качестве изделий в машиностроении.
2. В диссертации отсутствуют данные о механических свойствах разработанных сплавов, что позволило бы оценить возможность

- применения синтезированных сплавов в качестве конструкционных материалов.
3. В автореферате недостаточно объяснена роль влияния легирующих элементов на свойства алюминиевых сплавов.
 4. Хотя автор упоминает внедрение сплавов на предприятиях («Тамохуш», п/я А-1928), отсутствуют конкретные результаты испытаний, нет данных о масштабах применения, сроках эксплуатации, сравнении с аналогами.
 5. Испытания порошковых сплавов «Альба» на влагоёмкость проведены при одной температуре и влажности (комнатная, 65 %), что недостаточно для обоснованных выводов.
 6. В диссертации отсутствует акт внедрения технологии и выпуск опытной партии на предприятии «Тамохуш».
 7. В диссертации (стр. 171-173) рассматриваются методы получения лигатур алюминий-стронций в Институте химии им. В.И. Никитина, однако не указаны способы ввода стронция в расплав, а также параметры процесса – с какой температуры и под каким покровным флюсом была получена перечисленная лигатура.
 8. На странице 172 диссертации приводится ссылка на промышленное опробование технологического процесса литья сплавов АЛ4 и АК5М7 на Минском моторном заводе. Если такая апробация действительно была выполнена диссертантом, то почему отсутствуют акты её проведения?
 9. В тексте диссертации встречаются грамматические и стилистические ошибки (например, стр. 24, 46, 52, 79, 86, 125 и др.).

Однако указанные замечания несколько не снижают достоинств данной работы.

Заключение

Диссертационная работа Олимова Насруддина Солиховича представляет собой завершённое научное исследование, выполненное автором самостоятельно на высоком уровне, в котором изложены новые научно обоснованные решения в области окисления расплавов элементов подгруппы кремния с алюминием и щёлочноземельными металлами и свойств их сплавов, что вносит значительный научный вклад. Полученные автором результаты, несомненно, достоверны и имеют большое практическое, а также теоретическое значение.

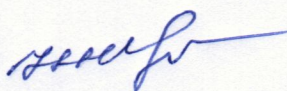
По теме диссертации автором опубликовано значительное количество работ в ведущих научных рецензируемых журналах, которые вполне отражают её содержание. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

По содержанию и объёму работа отвечает критериям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 11.09.2021 г.), предъявляемым к докторским диссертациям. Автор диссертационной работы Олимов Н.С. заслуживает присуждения ему искомой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Отзыв заслушан и утверждён на заседании Научно-технического совета Государственного учреждения «Научно-исследовательский институт металлургии» открытого акционерного общества «Таджикская алюминиевая компания», протокол №4 от «02» марта 2026 г.

Председатель заседания:

Директор ГУ «НИИМ»
ОАО «ТАЛКО», к.т.н.



Наимов Н.А.

Эксперт:

Заместитель директора по научной работе
ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО», д.т.н.



Муродиён А.Ш.

Секретарь заседания:

Учёный секретарь ГУ «НИИМ»
ОАО «ТАЛКО», к.т.н.



Хамраев Н.Х.

Адрес: 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Х. Хакимзаде, 17.

E-mail: inmet.talco@mail.ru **Телефон:** (+992)37 224 26 20, 44 600 39 01

Подлинность подписей к.т.н. Наимова Н.А., д.т.н. Муродиёна А.Ш., и к.т.н. Хамраева Н.Х. заверяю:

Заведующий сектором научно-технического
сотрудничества и учёта кадров
ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО»



Шарипов З.Х.