

«Утверждаю»

Ректор Кулябского государственного  
университета им. А. Рудаки

доктор педагогических наук, профессор

Мирализода А.М.

«                    »                      2020 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Алиева Фирдавса Алиевича на тему: «Свойства алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с элементами подгруппы галлия», приставленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.02.01 – Материаловедение (в электротехнике) и 05.17.03 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

*Актуальность темы диссертации.* Одним из путей увеличения прочности алюминиевых проводов является легирование алюминиевых сплавов. Легирующие элементы должны обеспечить рост прочности при достаточно высокой электропроводности. Как правило, примеси повышают прочность алюминия и в то же время понижают его электропроводность. Можно, конечно, выбрать примеси, которые повышая механические свойства алюминия, мало влияют на его проводимость, и вводить их с целью увеличения прочности алюминия.

Наибольший эффект дает добавка в алюминий кремния. Однако прочность этого сплава в наклепанном состоянии недостаточно высока. Удачное сочетание высокой механической прочности и высокой электропроводности получают, применяя тройные и более сложные по составу алюминиевые сплавы, одновременно содержащие кремний, магний, железо и др. элементы. Подвергая их специальной термической

обработке можно достичь желаемого результата. Такие сплавы носят название «алдрей».

Известный сплав «алдрей» - это сплав алюминия с такими химическими элементами, как кремний (от 0,4 до 0,7%), железо (от 0,2 до 0,3%) и магний (от 0,3 до 0,5%). В состав сплава «алдрей» в обязательном порядке включены кремний и магний, которые обуславливают основные физико-химические свойства данного сплава. Отношение содержания кремния и магния должно соответствовать формуле соединения  $Mg_2Si$ , образующегося в сплаве и являющегося упрочнителем, сообщаящим ему высокие механические свойства. Однако в практических условиях надо учитывать постоянное присутствие в сплаве железа, которое представляет пока неизбежную, но часто вредную примесь в технической алюминии, образуя соединение, содержащее и кремний ( $Al_6Fe_2Si_3$ ). Поэтому, чтобы обеспечить полностью образование соединения  $Mg_2Si$ , в сплав надо вводить некоторый избыток кремния (0,4-0,5%) против количества кремния, рассчитанного теоретическим путём.

Основной характеристикой упрочнения сплавов таким соединением, как  $Mg_2Si$  является то, что растворимость его в твёрдом алюминии с понижением температуры падает. Так, максимальная растворимость  $Mg_2Si$  в алюминии при  $595^\circ C$  равна 1,85%, а при  $200^\circ C$  – только 0,2%. Поэтому, если нагретый выше  $500^\circ C$  сплав типа «алдрей», в котором при этой температуре в твёрдый раствор переходит всё количество  $Mg_2Si$ , подвергнуть быстрому закаливанию (охлаждению), то в алюминии происходит образование пересыщенного раствора  $Mg_2Si$ .

Отмечается, что при длительном лежании указанного сплава из твёрдых растворов происходит выделение избытка  $Mg_2Si$ , представляющего собой тонкодисперсную структурную составляющую, при этом происходит процесс дисперсионного твердения, в результате чего механическая прочность сплава повышается. Данный процесс (длительное лежание) является старением сплавов в естественных условиях (естественным старением). Как показывает практика, на

скорость и эффективность процесса старения сплава можно воздействовать незначительным его подогревом (в пределах 150-200°C), при данных температурах процесс старения усиливается и ускоряется искусственное старение. При искусственном старении соединение  $Mg_2Si$  выводится из состава твёрдого раствора, что вызывает повышение электропроводности указанных сплавов.

Для проволоки, изготовленной из сплавов «алдрей», разработана методика и схема термической обработки проволоки, сущность которой заключается в следующем: катаную или прессованную заготовку закаливают в воде при 510-550°C, затем протягивают и подвергают искусственному старению при 140-180°C.

Прочность на разрыв у «альдрей» вдвое выше, чем у алюминия. При одинаковой проводимости это обеспечивает прочность проводов из «алдрей» - в 1,5 раз большую, чем прочность медных проводов при вдвое меньшем весе. Вследствие этого размеры пролетов воздушных линий могут быть увеличены. Большая твёрдость альдрей уменьшает риск повреждения проводов при монтаже, как это имеет место при алюминиевых или сталеалюминиевых проводах.

Исследователями, разработан сплав «альдрей», являющийся термоупрочняемым сплавом, а также алюминиевым проводниковым сплавом с общей формулой  $E-AlMgSi$ . Это высокопластичный и обладающий высокими прочностными характеристиками сплав. Известно также, что при высокотемпературной обработке данного сплава его электропроводность значительно повышается. Эта характеристика сплава используется, в частности, при изготовлении проводов для воздушных линий электропередач.

В связи с тем, что алюминиевые провода и провода из различных сплавов алюминия для линий электропередач используются в атмосфере на открытом воздухе, актуальной задачей является повышение коррозионностойкости указанных сплавов.

В рецензируемой работе поставлена задача исследовать физико-химические свойства алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («альдрей») путём легирования химическими элементами подгруппы галлия и на их основе создать новые проводниковые сплавы с улучшенными характеристиками и свойствами.

Использование алюминия, как проводникового материала является экономически целесообразным, так как его цена на рынке значительно уступает цене меди. Кроме того, цена алюминия практически не меняется на протяжении многих лет, то есть остаётся стабильной.

В литературе отмечают ряд сложностей, связанных с применением проводниковых алюминиевых сплавов, когда из этих сплавов изготавливают тонкую проволоку, в частности, обмоточные провода и др. изделия, так как эти сплавы обладают низкой прочностью и незначительным количеством перегибов, в связи с чем могут легко разрушаться.

#### *Основное содержание работы*

Диссертационная работа включает введение, четыре главы и приложения, изложена на 156 страницах компьютерного набора, включает 78 рисунков, 49 таблиц, 95 библиографических наименований.

**Во введении** изложены предпосылки и основные проблемы исследования, обоснована актуальность работы, раскрыта структура диссертации.

**В первой главе** описано структурообразование алюминиевых сплавов с галлием, индием и таллием; теплоемкость алюминия, магния, кремния галлия, индия и таллия; особенности окисления и коррозионно-электрохимического поведения сплавов алюминия с галлием и индием в различных средах. На основе выполненного обзора показано, что теплоемкость алюминия, магния, кремния галлия, индия и таллия хорошо изучены. Имеются сведения о влиянии температуры и чистоты металлов на их тепловые и теплофизические свойства. Однако в литературе отсутствует информация о теплоемкости и

термодинамических свойств, коррозионно-электрохимическом поведении и особенностях окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, индием и таллием.

Таким образом, в связи с отсутствием систематических данных о физико-химических свойствах алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, индием и таллием последние были взяты в качестве объекта исследования в рецензируемой диссертационной работе.

**Во второй главе автор** приводит результаты исследования температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, индием и таллием.

**Третья глава диссертации** посвящена экспериментальному исследованию кинетики окисления алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, индием и таллием.

**В четвертой главе диссертантом** представлены результаты потенциостатического исследования алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, индием и таллием, в среде электролита NaCl.

Диссертационная работа завершается общими выводами, списком цитированной литературы и приложением.

В заключение сформулированы основные выводы по результатам диссертационной работы свидетельствующие о решении поставленных перед соискателем задач исследования. Заключительные выводы диссертации, в целом, достоверны и соответствуют полученным результатам и их анализу.

Список цитируемой литературы вполне отражает ситуацию в области исследования. Следует отметить, что список литературы оформлен грамотно, и позволяет получить полное представление о цитируемом источнике.

Таким образом, содержание диссертационной работы Алиева Фирдавса Алиевича отвечает требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к содержанию кандидатских диссертаций.

**Научная новизна исследований.** Соискателем для проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») установлена зависимость изменений термодинамических характеристик (энтальпия, энтропия и энергия Гиббса) и теплоёмкости от температуры и содержания легирующих элементов галлия, индия и таллия. Выявлены зависимости теплоёмкости от температуры и определено, что с увеличением температурного режима теплоёмкость проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием увеличивается, а энергия Гиббса сплавов уменьшается. С увеличением доли галлия, индия и таллия в сплаве E-AlMgSi («алдрей») энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а энергия Гиббса снижается.

Выявлена зависимость температуры и скорости окисления исследованных сплава. Определено, что при увеличении температуры скорость окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием, в твёрдом состоянии, имеют тенденцию к увеличению. Определена константа скорости окисления сплава, составившая  $10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>. Также показано, что сплав E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием окисляется согласно гиперболической закономерности.

Потенциостатическим и потенциодинамическим методами исследования установлено, что в условиях скорости развертки потенциала, равной 2 мВ/с, коррозионностойкость исходного алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») возрастает от 20 до 30% при легировании его выше указанными добавками в пределах не более 1,0 мас%. Потенциал коррозии исходного сплава E-AlMgSi («алдрей») в этом случае сдвигается в область положительных значений, а потенциалы питтингообразования и потенциал репассивации –

сдвигаются в область отрицательных значений. При переходе от сплавов с галлием к сплавам с индием и таллием наблюдается уменьшение скорости коррозии сплавов (для сплавов с 1,0 мас% добавки).

**Практическая значимость работы.** Подобраны оптимальные концентрации модифицирующих добавок (галлия, индия и таллия) для повышения коррозионной стойкости исходного алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей»).

В целом автором на основе проведённых исследований отдельные составы алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием защищены 2 малыми патентами Республики Таджикистан.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 10 научных работ, из них 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК при Президента Республики Таджикистан и 6 статьи в материалах международных и республиканских конференций. Также получено два малых патента Республики Таджикистан.

**Рекомендации по практическому использованию результатов:**

1. На основании проведенных физико-химических исследований научно обоснованы границы легирования алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») элементами подгруппы галлия. В частности, было показано, что оптимальное количество элементов подгруппы галлия в сплаве E-AlMgSi («алдрей») соответствует концентрации 0,05–1,0% по массе. Сплавы с галлиевым имеют самый низкий показатель коррозии.

2. Разработанные сплавы и способы их получения рекомендуется для использования предприятиям промышленности подведомственные Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан, в частности предприятия ООО «Нокили Талко» (акт испытания имеется)

3. Опытные партии новых сплавов могут производиться на базе Государственного научного учреждения Центр исследования инновационных технологий при Национальной академии наук

Таджикистана с целью поставки заинтересованным предприятиям и ведомствам. Составы разработанных сплавов защищены патентами Республики Таджикистан и предназначены для использования в качестве нового проводникового сплава для использования в электротехнической промышленности.

*По диссертационной работе имеются следующие замечания:*

1. Диссертантом не исследованы продукты окисления алюминиевых проводниковых сплавов методом рентгенофазового анализа. Нет данных о других методов физико-химического анализа, например ИК-спектроскопии. 2. В работе не изучены коррозионно-электрохимическое поведение сплавов в кислых и щелочных средах, хотя коррозионное поведение разработанных новых проводниковых сплавов практически исследованы в нейтральной среде.

3. Не ясно, почему в приложении диссертации автором не приведены копии малых патентов Республики Таджикистан, полученных диссертантом на составы разработанных новых проводниковых сплавов на основе алюминия типа «алдрей».

4. При чтении текста диссертации в отдельных местах встречаются грамматические и стилистические ошибки (например, с. 27, с. 39, с. 78, с.138 и др.).

5. В диссертации автор при оформлении некоторой литературы не использовал ГОСТ.

6. Автором утверждается, что в ходе выполнения работы использовалось метод рентгенофазовый анализ сплавов. Однако в диссертации и автореферате отсутствуют, результаты анализов и не указаны марки приборов

Следует отметить, что данные замечания не умаляют достаточно высокий уровень диссертационной работы.

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы и не которых из них имеют рекомендательного



характера и являются напутствием на дальнейшее исследование в данном направлении.

Диссертация Алиева Фирдавса Алиевича представляет собой законченную научно – исследовательскую работу. Основное содержание работы отражено в авторских публикациях и изложено в автореферате. Основные выводы работы обоснованы, исследования выполнены с применением современных экспериментальных и вычислительных методов.

*Заключение.* Диссертационная работа Алиева Фирдавса Алиевича на тему: «Свойства алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с элементами подгруппы галлия» является законченной научно-исследовательской работой. В ней на основании самостоятельно выполненных автором экспериментальных исследований решена актуальная научная проблема в области материаловедения в электротехнике, связанная с существенным повышением эксплуатационных характеристик проводниковых сплавов на основе сплава E-AlMgSi (“алдрей”), с галлием, индием и таллием.

В работе решена важная задача, является установление температурных зависимостей термодинамических, кинетических и анодных свойств алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием, которые могут быть использованы для нужд электротехнических отраслей промышленности.

Таким образом, диссертационная работа Алиева Ф.А. на тему: «Свойства алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с элементами подгруппы галлия» по актуальности, объему, содержанию, научной новизне, практической значимости и апробации полученных данных полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства Республики Таджикистан от 26.11.2016г., №505, а её автор достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по

специальностям 05.02.01 – Материаловедение (в электротехнике), 05.17.03 –  
Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Отзыв обсужден и подтвержден на заседании кафедры общей и  
теоритической физики Кулябского государственного университета им.

А. Рудаки протокол №2 от 27 октября 2020 года.

Председатель, зав. кафедрой «Общей и теоритической физики»  
Кулябского государственного университета им А. Рудаки  
кандидат физ.-мат. наук

E-mail: Ruhshona.Akramova@mail.ru

Тел.: (+992) 907 71 72 44

Р. Я. Акрамова

Ученый секретарь кафедры  
«Общей и теоритической физики»

Кулябского государственного университета им А. Рудаки  
кандидат физ.-мат. наук

Тел.: (+992) 907 71 72 44

А. Д. Тошматов

Эксперт, профессор кафедры  
«Общей и теоритической физики»,  
доктором химических наук, академик ИАТ

E-mail: kgu@mail.ru

Тел.: (+992) 8 33 222 3506

С.К. Каримов

Полное название: Кулябский государственный университет им. А. Рудаки.

Адрес: 735700 г. Куляб, Хатлонская область, улица С. Сафарова, 16

Официальный сайт: www.kdu.tj

E-mail: kgu@mail.ru

Тел.: (+992) 8 33 222 35 06

Факс: (+992) 8 33 222 35 06

Подлинность подписей Акрамовой Р.Я., Тошматова А.Д., Каримова С.К.  
подтверждаю:

Начальник УК и СИ



Ф. А. Амиров