

ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ
ЧУМХУРИИ ТОЧИКИСТОН
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ
ҚӮЛОБ БА НОМИ
АБУАБДУЛЛОҲИ РӮДАҚИ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
КУЛЯБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
АБУАБДУЛЛОҲ РӮДАҚИ

735360, ш. Кӯлоб, кӯч. С. Сафаров, 16

735360, г. Кулъаб, ул. С. Сафарова 16

тел.: (+992-833-22) 2-35-06; (+992-833-22) 2-36-26, факс: (+992-33-22) 2-35-06, info@kgu.tj, www.kgu.tj

№ 93 от «03» 10 2022 г.

«Утверждаю»

Ректор Кулъабского государственного
университета им. А. Рудаки, д.ю.н.,
профессор Рахмон Д.С.

2022 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Абдулакова Аслама Пировича на тему: «Свойства алюминиевого проводникового сплава Е-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

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 алюминия кремний. Однако прочность этого сплава в наклепанном состоянии недостаточно высока. Удачное сочетание высокой механической прочности и 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, сообщающим ему высокие механические свойства. Однако в практических условиях надо учитывать постоянное присутствие в сплаве железа, которое представляет пока неизбежную, но часто вредную примесь в техническом 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 $500^{\circ}C$ сплава 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 $150-200^{\circ}C$), 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 сплава “алдрей”, разработана методика и схема термической обработки проволоки, сущность которой заключается в следующем: катаную или прессованную заготовку закаливают в воде при $510-550^{\circ}C$, затем протягивают и подвергают искусственному старению при $140-180^{\circ}C$.

Прочность на разрыв у “алдрей” 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 “алдрей” уменьшает риск повреждения проводов при монтаже, как это имеет место при алюминиевых или стальалиминиевых проводах.

Исследователями разработан сплав “алдрей”, 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 (“алдрей”) путём легирования химическими элементами олово, свинец и висмут 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 157 страницах компьютерного набора, включает 69 рисунков, 48 таблиц, 108 библиографических наименований.

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

В **первой главе** описано структурообразование алюминиевых сплавов с оловом, свинцом и висмутом; теплоемкость алюминия, магния, кремния

олова, свинца и висмута; особенности окисления и коррозионно-электрохимического поведения сплавов алюминия с оловом и свинцом в различных средах. На основе выполненного обзора показано, что теплоемкость отдельных химических элементов, также как, алюминия, магния, кремния, олова, свинца и висмута 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 оловом, свинцом и висмутом.

Таким образом, в связи с отсутствием систематических данных о физико-химических свойствах алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом последние диссертантом 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 оловом, свинцом и висмутом.

Третья глава диссертации посвящена экспериментальному исследованию кинетики окисления алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом.

В четвертой главе диссертантом представлены результаты потенциостатического исследования алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом, 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.

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 олова, свинца и висмута. Выявлены зависимости теплоёмкости от температуры и определено, что с увеличением температурного режима теплоёмкость проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом увеличивается, а энергия Гиббса сплавов уменьшается. С увеличением доли олова, свинца и висмута в сплаве E-AlMgSi (“алдрей”) энталпия и энтропия сплавов увеличиваются, а энергия Гиббса снижается.

Выявлена зависимость температуры и скорости окисления исследованных сплавов. Определено, что при увеличении температуры скорость окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом, в твёрдом состоянии, имеет тенденцию к увеличению. Определена константа скорости окисления сплава, равная 10^{-4} кг/м²·с⁻¹. Также показано, что сплав E-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом 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 до 30% при легировании его выше указанными добавками 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 оловом к сплавам со свинцом и висмутом наблюдается уменьшение скорости коррозии сплавов (для сплавов с 1,0 мас% добавки).

Практическая значимость работы.

Подобраны оптимальные концентрации модифицирующих добавок (олова, свинца и висмута) 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 оловом, свинцом и висмутом защищены 4 малыми патентами Республики Таджикистан.

Публикации.

По результатам исследований опубликовано 15 научных работ, из них 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации и 7 статей в материалах

международных и республиканских конференциях. Также получено 4 малых патента Республики Таджикистан.

Рекомендации по практическому использованию результатов.

1. На основании проведенных физико-химических исследований научно обоснованы границы легирования алюминиевого сплава Е-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом. В частности, было показано, что оптимальное количество элементов олово, свинец и висмут в сплаве Е-AlMgSi (“алдрей”) соответствует концентрации 0,05–1,0% по массе. Сплавы с оловом 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 предприятиям ООО «Нокили Талко» (акт испытания имеется).
3. Опытные партии новых сплавов могут производиться на базе Государственного учреждения Центр по исследованию инновационных технологий 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 методах физико-химического анализа, например ИК-спектроскопии.
2. В работе, в частности речь идёт об увеличении электропроводность и механическая прочность алюминия путем легирования, однако не раскрываются структурные механизмы этих параметров. С другой стороны отмечается, что с повышением температуры увеличивается электрическое сопротивления (стр. 10), после легирование увеличивается электропроводность. Непонятно, как можно объяснить одновременного увеличения электрического сопротивления и электропроводности (стр. 17).
3. 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.
4. При чтении текста диссертации в отдельных местах встречаются грамматические и стилистические ошибки (например, с. 28, с. 38, с. 76, с. 134

и др.). В некоторых рисунках наблюдается несоответствие единицы измерений, в частности стр. 12. Зависимость $\sigma = f(T)$, на рис. 1.2. единиц твердость ($\text{кГс}/\text{мм}^2$), а также экспериментальные ошибки в некоторых случаях составляют 15-20%, что кажется немного завышенными в научной работе. На рис. 2.1. приведено схема измерительной установки, в тексте отмечается 9-цифровой термометр, 10-регистрационный прибор, а на рис. не указаны.

5. В диссертации неясны механизмы растворимости Sn, Pb и Bi, и электроотрицательности атомных радиусов, а также механизм увеличения электропроводности. Обычно, экспериментальные данные показывают, что электропроводность чистых металлов всегда выше, чем электропроводности металла с примесями. За счет чего увеличивается механическая прочность и электропроводность металлов, в частности алюминия.

6. Лигатуры выбраны из разных групп периодической системы Д.И. Менделеева, т.е. олово и свинец – элементы IУ –группы, а висмут – элемент Y-группы, а в табл. 3.7. величина энергия активации при нулевой концентрации для трех элементов одинаково. Как можно объяснить эти данных?

7. В диссертации автор при оформлении некоторых ссылок в списке литературы не использовал рекомендации ГОСТ.

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 Абдулакова Аслама Пировича 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 Абдулакова Аслама Пировича на тему: «Свойства алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом» является законченной научно-исследовательской работой. В ней на основании самостоятельно выполненных автором экспериментальных исследований решена актуальная научная проблема в области материаловедение, связанная с существенным повышением эксплуатационных характеристик проводниковых сплавов на

основе алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом.

В работе решена важная задача, т.е. установлена температурная зависимость термодинамических, кинетических и анодных свойств алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного оловом, свинцом и висмутом, которые могут быть использованы для нужд электротехнических отраслей промышленности.

Таким образом, диссертационная работа Абдулакова Аслама Пировича на тему: «Свойства алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с оловом, свинцом и висмутом» по актуальности, объему, содержанию, научной новизне, практической значимости и апробации полученных данных полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а её автор достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Отзыв обсужден и подтвержден на заседании кафедры «Общей и теоретической физики» Кулабского государственного университета им. А. Рудаки протокол № 1 от «15» сентября 2022 года.

Председатель, кандидат физ.-мат. наук, заведующая кафедрой
общей и теоретической физики Кулабского
государственного университета им А. Рудаки

Акрамова Р. Я.

Эксперт, кандидат физ.-мат. наук, доцент

Гафоров С.

Секретарь

Гулматов У.А.

Адрес: 735360, Республика Таджикистан, г. Кулаб, улица С. Сафарова, 16,
Кулабский государственный университет им. А. Рудаки.

Тел.: (+992) 8 33 222 35 06, моб. (+992) 918 28 86 15

E-mail: Ruhshona.Akramova@mail.ru, web: www.kgu.tj

Подлинность подписей , к.ф-м.н Акрамовой Р.Я.,
к.ф-м.н., доцент Гафорова С. и Гулматов У.А.

Заверяю:

Начальник УК КГУ им. А. Рудаки



Амиров Ф. А.