

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Загуляева Дмитрия Валерьевича «Модификация структуры и свойств алюминия и доэвтектических силуминов методами электронно-ионно-плазменных и магнитных воздействий», представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертационного исследования

В последние десятилетия разработаны и применяются технологии модификации приповерхностных слоев материалов с помощью различных высокоэнергетических воздействий, включая лазерное, электронное и ионное облучение, ионную имплантацию, ионно-плазменную обработку и другие. Интересные структурно-фазовые превращения и связанные с ними изменения механических, физико-химических и других свойств поверхностей и приповерхностных слоев алюминий-кремниевых сплавов в результате импульсного электронного облучения и ионно-плазменного воздействия методом электровзрывного легирования исследованы недостаточно. Вместе с тем, указанные исследования представляют существенный интерес в связи с широким практическим применением алюминий-кремниевых сплавов. Поэтому комплексное фундаментальное исследование закономерностей модификации структуры, фазового состава, механических и триботехнических свойств алюминия и алюминий-кремниевых сплавов при воздействии магнитного поля, импульсного электронного облучения и ионно-плазменного воздействия, выполненное в диссертационной работе Загуляева Дмитрия Валерьевича, представляется актуальным как для развития физики конденсированного состояния и материаловедения, так и для разработки современных методов модификации приповерхностных слоев материалов на основе алюминия для получения перспективных изделий различного назначения.

Научная новизна исследования

В работе впервые получены новые научные данные по эволюции структурно-фазового состояния и механических свойств алюминия и алюминий-кремниевых сплавов, подвергнутых воздействию концентрированных потоков энергии. Среди наиболее значимых следует отметить следующие:

1. Предложен физический механизм воздействия постоянного магнитного поля на деформационное поведение алюминия;

2. Показано, что импульсное электронное облучение алюминий-кремниевых сплавов приводит увеличению микротвердости приповерхностного слоя, снижению коэффициента



трения и интенсивности изнашивания. Последнее автор связывает с формированием в приповерхностном слое ячеек кристаллизации и исчезновением интерметаллидных фаз, характерных для сплава в состоянии поставки.

3. Установлено, что покрытие, формирующееся в результате электровзрывного легирования сплава АК10М2Н алюминием, титаном и оксидом иттрия, обладает повышенными характеристиками износостойкости, микро- и нанотвердости за счет формирования упрочняющих фаз Si, Y₂O₃, YSi₂ и Y₂Si₂O₇.

4. Показано, что применение комбинации методов электровзрывного легирования и импульсного электронного облучения позволяет добиться дополнительного повышения износостойкости (в 2,8 раза) по сравнению с материалом только после облучения.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов

Научные положения, выносимые на защиту, и выводы, сделанные по результатам работы, достоверны и обоснованы. Достоверность подтверждается использованием современных взаимодополняющих методик исследования структуры, фазового состава и свойств материалов, согласием полученных результатов с данными других исследователей, публикацией экспериментальных данных в авторитетных рецензируемых научных изданиях.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций, сделанных в диссертации

Научная значимость результатов заключается в выявлении закономерностей структурно-фазовых превращений и эволюции механических и триботехнических свойств алюминиевых сплавов при высокоэнергетических воздействиях.

Практическая значимость работы определяется тем, что установлены оптимальные режимы высокоэнергетического воздействия на алюминий-кремниевые сплавы, обеспечивающие максимальное повышение механических и триботехнических свойств. Разработаны режимы воздействия магнитным полем на алюминий технической чистоты, позволяющие снизить энергетические затраты предприятий при производстве продукции из алюминия. Практическая значимость подтверждается прилагаемыми справками о внедрении высокоэнергетической обработки в технологический процесс.

Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа изложена на 330 страницах и содержит введение, 8 разделов, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы из 290 наименований, 6 приложений, 174 рисунка и 25 таблиц.

Во введении обоснованы актуальность работы и достоверность полученных результатов; сформулированы цели и задачи исследования, положения, выносимые на защиту; описаны степень разработанности темы, научная новизна, научная и практическая

значимость, методология, структура и объем диссертации; приведены сведения о личном вкладе автора, апробации результатов, публикациях по теме диссертации и соответствии темы паспорту специальности.

В первом разделе сделан обзор работ по влиянию концентрированных потоков энергии на структуру и физико-механические свойства металлов и сплавов.

Во втором разделе представлено описание и обоснование выбора материалов и методов исследования.

В третьем разделе приведены данные по влиянию постоянного магнитного поля на механические свойства алюминия различной степени чистоты. Исследованы характеристики микроструктуры технически чистого алюминия после ползучести в магнитном поле до разрушения. Предложен физический механизм влияния слабого магнитного поля микротвердость и скорость установившейся ползучести алюминия.

В четвертом и пятом разделах изложены результаты влияния импульсного электронного облучения на микротвердость и триботехнические характеристики сплавов АК5М2 и АК10М2Н. Установлено, что воздействие импульсным электронным облучением приводит к увеличению микротвердости, снижению коэффициента трения и скорости изнашивания. Обнаруженные явления объясняются на основе данных об эволюции структурно-фазового состояния.

В шестом разделе описаны результаты исследования влияния электровзрывного легирования алюминием, титаном и оксидом тория на структуру и фазовый состав приповерхностного слоя сплава АК10М2Н, а также на его микротвердость, коэффициент трения и сопротивление износу.

В седьмом разделе представлены результаты исследований влияния комбинированной обработки электровзрывным легированием с последующим импульсным электронным облучением сплава АК10М2Н. Выполнено сравнение уровня свойств сплава, достигнутых при комбинированной и однотипной обработке, а также без обработки.

В восьмом разделе приведены сведения об апробации результатов работы.

В заключении сформулированы выводы по результатам диссертационного исследования.

В приложениях приведены справки и акты о внедрении результатов.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям

Диссертация Загуляева Д.В. удовлетворяет критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени доктора наук, указанным в разделе II «Положения о присуждении ученых степеней». В частности, по материалам диссертации опубликовано 69 работ, в том числе 3 главы в коллективных монографиях, 36 статей в изданиях,

индексируемых в базах данных Scopus и web of Science, 17 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, получено 6 патентов РФ и 7 свидетельств о государственной регистрации баз данных.

Соответствие автореферата диссертации

Автореферат диссертации и публикации полностью соответствуют и отражают содержание диссертации.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, п.1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления».

Замечания по работе

В качестве замечаний необходимо отметить следующее:

1. На взгляд оппонента, выбор части источников для обзора литературы не соответствует целям и задачам, поставленным в диссертации. Например, в обзоре рассмотрены работы по вневакуумной наплавке пучком электронов с релятивистской энергией, электродуговой наплавке, обработке лазерным излучением и других. Температурные и временные условия процессов, протекающих в зоне высокоэнергетического воздействия указанными методами, существенно отличаются от условий при импульсном электронном облучении и электровзрывном легировании. Поэтому целесообразность их включения в обзор неочевидна. В то же время в обзоре недостаточно подробно рассмотрен широкий спектр работ последних лет зарубежных, особенно китайских, авторов по импульсному электронному облучению металлических материалов, которые имеют более близкое отношение к задачам диссертационной работы.

2. Описание экспериментальных методик, использованных в работе, выполнено небрежно. Например, непонятно, каким образом автору удалось измерить химический (элементный) состав технически чистого алюминия с помощью рентгеноструктурного анализа с точностью до четырех знаков после запятой (таблица 2.1), до двух знаков после запятой (таблица 2.2). Описание статистической обработки результатов недостаточное или может толковаться двояко, например, указано, что для расчета параметра относительного изменения скорости ползучести использовали 20 значений скорости установившейся ползучести (с. 66). Означает ли это, что испытывали 20 образцов, или измерение скорости ползучести проводили 20 раз на одном и том же образце? При описании структурных

исследований излагаются принципы формирования контраста в просвечивающей электронной микроскопии, которые известны и могли бы быть опущены. Не описана методика проведения экспериментов на ползучесть: не указана температура ползучести алюминия и точность ее поддержания во время эксперимента, не указаны размеры образцов, способ подготовки поверхности и т.д.

3. Для объяснения влияния магнитного поля на скорость ползучести технически чистого алюминия (сплава Al-0,26%Fe) автор использует модель взаимодействия атомов железа и алюминия в сплаве. В то же время известно, что растворимость железа в алюминии мала (0,03% при 655 °С и резко снижается при уменьшении температуры), поэтому большинство атомов железа в сплаве сосредоточено во вторичных фазах. В объясняющей модели указанный фактор никак не учитывается.

4. Точность, с которой в диссертации приводятся значения физических величин, вызывает сомнения. Например, в выводе 2 к разделу 4 (с.119) указано, что «Выявлено, что рациональными параметрами ИИЭП, приводящими к 197% увеличению износостойкости...». Разброс величин износостойкости, как правило, не позволяет вычислять величину эффекта с приведенной точностью. В выводе 3 к этому же разделу сообщается, что «... облучение... приводит к увеличению концентрации кремния на 47,9 – 49,2 %...». В последнем случае, во-первых, содержание кремния может изменяться в различных областях приповерхностного слоя, во-вторых, метод микрорентгеноспектрального анализа не обеспечивает точности, необходимой для того, чтобы обосновать сделанное выше утверждение.

5. К сожалению, в диссертации встречаются неточные формулировки и использование жаргонных выражений.

Вышперечисленные замечания не снижают общей высокой оценки результатов, полученных в диссертационном исследовании, и не ставят под сомнение сделанные выводы.

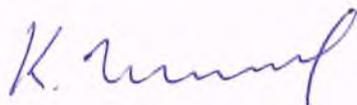
Заключение

В ходе выполнения научно-квалификационной работы Д.В. Загуляевым решена проблема выявления физической природы и закономерностей формирования структурно-фазового состояния и свойств алюминия и алюминий-кремниевых сплавов, подвергнутых электронно-ионно-плазменным и магнитным воздействиям, имеющая важное хозяйственное значение, что соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842.

Судя по диссертационной работе и опубликованным работам, автор диссертации Загуляев Дмитрий Валерьевич является авторитетным высококлассным специалистом в области физики конденсированного состояния, который способен формулировать и решать

сложные научные проблемы и получать научные результаты мирового уровня. Он заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, доктор физико-математических наук



Иванов Константин Вениаминович

Настоящим подтверждаю своё согласие на обработку персональных данных.

634055, г. Томск, пр. Академический 2/4

Тел. +7 (3822) 286 858; E-mail: ikv@ispms.ru

Специальность 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

«ЗАВЕРЯЮ» УЧЕНЫЙ
СЕКРЕТАРЬ ИФПМ СО РАН
Н. Ю. МАТОЛЫГИНА

