

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Загуляева Дмитрия Валерьевича на тему «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

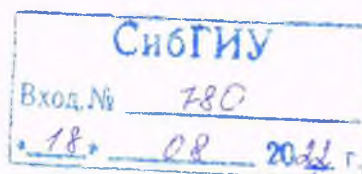
Актуальность темы диссертационного исследования

В настоящее время алюминий занимает первое место в мировом объеме производства цветных металлов и является основой широкого класса конструкционных материалов для различных отраслей современной техники. Это касается аэрокосмической, атомной техники, кораблестроения, автомобилестроения, строительства, легкой промышленности, при этом роль алюминиевых сплавов как конструкционных материалов постоянно возрастает.

Однако расширение сферы практического использования алюминиевых сплавов для изготовления корпусных деталей и разнообразных пар трения препятствует несоответствие высоким технологическим требованиям таких его эксплуатационных характеристик, как недостаточная твердость и низкая износостойкость. Устранение этих недостатков связано с улучшением состава и качества поверхностных слоев изделий, а также с возможностью применения современных методов поверхностной обработки алюминия.

В настоящий момент существуют множество различных способов модификации физических и механических свойств металлических материалов. Особое место при этом занимают внешние энергетические воздействия. Одними из таких методов являются воздействие импульсами электронными пучками, электрическими и магнитными полями.

В этой связи диссертационная работа Загуляева Дмитрия Валерьевича, направленная на решение рассмотренных вопросов, является чрезвычайно актуальной.



Научная новизна исследования

Успешное выполнение поставленной в работе цели позволило диссертанту получить впервые ряд оригинальных результатов, среди которых к наиболее значимым можно отнести следующие:

1. Определены механизмы, ответственные за изменение деформационного поведения Al при воздействии на него магнитными полями величиной до 0,3 Тл.

2. Электронно-ионно-плазменная обработка AlSi сплавов приводит к кардинальному преобразованию структуры поверхностного слоя материала, заключающемуся в формировании многоэлементного многофазного покрытия с субмикроструктурной структурой, свободного от кремниевых включений и интерметаллидов микронных и субмикронных размеров, характерных для исходного сплава.

3. Ионно-плазменная обработка сплава АК10М2Н приводит к формированию поверхности износостойкость и микротвердость, нанотвердость которых многократно превышает значения сплава в исходном состоянии.

4. Ионно-плазменная обработка сплава АК10М2Н сопровождается формированием высокопористого поверхностного слоя толщиной 50 – 150 мкм, характеризующегося неоднородностью в распределении легирующих элементов (кремния, иттрия и кислорода), субмикро- и наноразмерной многофазной структурой, упрочняющими фазами которой являются частицы кремния, Y_2O_3 , YSi_2 и $Y_2Si_2O_7$.

5. Комплексная обработка, состоящая из последовательного ионно-плазменного напыления и обработки интенсивным импульсным электронным пучком, приводит к формированию в поверхностном слое сплава многофазного субмикро- наноразмерного состояния, размеры кристаллитов которого изменяются в пределах от единиц до сотен нанометров.

6. Комплексная обработка (при энергии пучка электронов 25 Дж/см²) приводит к увеличению микротвердости в ~ 3,1 раза, а при энергии пучка электронов 35 Дж/см², приводит к увеличению микротвердости в 4,3 раза и в 4,7 раза в зависимости от режима ионно-плазменного напыления.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов

Научные положения, выводы и заключения, сформулированные в диссертации, определяется корректностью поставленных задач, эффективностью использованных в

работе современных методов физики конденсированного состояния, достаточным объемом экспериментального материала, его корректной статистической обработкой, сопоставлением полученных результатов с литературными данными. При анализе и обсуждении полученных результатов автор квалифицированно использует современные представления физики конденсированного состояния.

Научная и практическая значимость работы

Научная значимость результатов определяется совокупностью новых знаний о выявлении физической природы и закономерностей формирования структурно-фазовых состояний, модификации свойств алюминия и доэвтектических силуминов, подвергнутых электронно-ионно-плазменным и магнитно-полевым воздействиям.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанные способы упрочнения приводят к значительному повышению микротвердости, износостойкости и снижению коэффициента трения, которые являются одними из основных показателей уровня физико-механических, электрофизических и трибологических свойств металлов и сплавов. Практическая значимость результатов диссертационного исследования подтверждается прилагаемыми справками о практическом применении полученных результатов.

Анализ содержания диссертации

Диссертация включает в себя введение, 8 разделов, заключение, список сокращений и условных обозначений, списка литературы из 290 наименований и 6 приложений. Она изложена на 330 страницах машинописного текста, содержит 174 рисунка и 25 таблиц. Текст диссертации оформлен в соответствии с ГОСТом, хорошо иллюстрирован. Основное содержание работы опубликовано в 98 печатных работах в том числе: 2 монографии; 1 глава в коллективной монографии; 38 статей в научных реферируемых изданиях, индексируемых 18 международными реферативными базами данных Scopus и Web of Science, из которых 9 статей опубликованы в изданиях, входящих в первый квартиль; 15 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ; 29 докладов и тезисов на конференциях различного уровня и других научных мероприятиях; 6 патентов на изобретение РФ и 7 свидетельств о государственной регистрации баз данных.

В первом разделе приведен анализ литературных данных отечественных и зарубежных авторов по влиянию внешних энергетических воздействий на изменение

структуры и свойств легких металлов. На основе анализа обоснованы цели и задачи настоящего исследования.

Второй раздел включает в себя подробное описание материала исследований, методов модифицирования поверхности, методов исследования структуры, дюрометрических и трибологических свойств.

В третьем разделе приведены данные по влиянию магнитных полей величиной до 0,3 Тл на относительное изменение микротвердости алюминия различной степени чистоты, скорость стационарной ползучести алюминия марки А85, его дефектную субструктуру. Описаны изменения, происходящие в поверхности разрушения при деформации в магнитных полях. Предложен качественный физический механизм влияния слабых магнитных полей на деформационное поведение алюминия. Выполнен анализ дислокационной субструктуры, формирующейся на стадии установившейся ползучести А1. Присутствие магнитного поля приводит к большему накоплению скалярной плотности дислокаций, формирующих, преимущественно, структуру дислокационного хаоса; к более развитому процессу формирования дислокационных петель; к формированию вдоль границ блоков вторичной блочной системы.

В четвертом разделе приведены данные по влиянию облучения интенсивными импульсными электронными пучками в различных режимах на микротвердость и износостойкость сплава АК5М2. Воздействие интенсивных импульсных электронных пучков на сплав АК5М2 приводит к увеличению микротвердости поверхности обработки. Максимальное увеличение микротвердости (0,95 ГПа) наблюдаются при параметрах интенсивного импульсного электронного пучка (50 Дж/см² и 50 мкс), что превышает HV исходного материала на 83%. Облучение интенсивными импульсными электронными пучками приводит к увеличению износостойкости поверхности модифицирования (литое состояние $k = 1,1 \cdot 10^{-3}$ мм³/Н·м, после облучения $k = 0,37 \cdot 10^{-3}$ мм³/Н·м). Описаны изменения тонкой структуры, количественного и качественного фазового состава, наблюдаемые при облучении сплава АК5М2 интенсивными импульсными электронными пучками. Обнаружены зависимости наблюдаемых трансформаций структуры и фазового состава от параметров облучения.

В пятом разделе представлены результаты исследований влияния интенсивного импульсивного электронного пучка на микротвердость, износостойкость, параметры кристаллического строения, структуру, элементный и фазовый состав сплава АК10М2Н. Установлено, что облучение интенсивным импульсным электронным пучком, независимо от времени импульса 50, 150 и 200 мкс сопровождается увеличением микротвердости. Показано, что одновременно с ростом микротвердости в облученных образцах наблюдается снижение коэффициента трения и интенсивности изнашивания. По сравнению с материалом в состоянии поставки коэффициент трения снизился в $\approx 1,3$ раза, интенсивность изнашивания – в $\approx 6,6$ раза, при параметрах трибонагружения $P=1$ Н, $V=25$ мм/с. Методами атомно-силовой, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопий установлено, что облучение сопровождается формированием градиентной структуры – структура ячеистой кристаллизации переходит, по мере удаления от поверхности обработки, в структуру смешанного типа, в которой наряду с ячейками присутствуют частично не растворившихся включений литейного происхождения.

В шестом разделе приведены данные по исследованию сплава АК10М2Н, подвергнутого импульсному многофазному ионно-плазменному воздействию методом электровзрывного легирования по шести режимам различающихся массой порошковой навески Y_2O_3 и напряжением разряда. Электровзрывное легирование приводит к увеличению износостойкости, микротвердости и нанотвердости поверхностных слоев сплава АК10М2Н. Определены оптимальные режимы обработки, приводящие к максимальному увеличению микротвердости: режим 2 (напряжение разряда – 2,8 кВ; масса алюминиевой фольги – 58,9 мг; масса порошка Y_2O_3 – 58,9 мг) и режим 5 (напряжение разряда – 2,6 кВ; масса алюминиевой фольги – 58,9 мг; масса порошка Y_2O_3 – 88,3 мг). Методами металлографической, атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопий установлено формирование высокопористого поверхностного слоя толщиной 50 – 150 мкм характеризующегося неоднородностью в распределении легирующих элементов. Методами электронной дифракционной микроскопии осуществлен анализ элементного и фазового состава, дефектной субструктуры поверхностного модифицированного слоя. Выявлено образование многослойной, многофазной нанокристаллической структуры, сформированной преимущественно оксидами и силикатами алюминия и иттрия.

В седьмом разделе представлены результаты исследований сплава АК10М2Н, подвергнутого электронно-ионно-плазменной обработке, включающей электровзрывное легирование системой Al-Ti-Y₂O₃ и обработку сформированного покрытия интенсивным импульсным электронным пучком. Показано, что износостойкость материала слабо зависит от варианта электронно-ионно-плазменной обработки. По отношению к исходному сплаву выявлено повышение износостойкости в (18-20) раз; по отношению к сплаву, облученному интенсивным импульсным электронным пучком, повышение износостойкости составило (2,6-2,8) раз. Коэффициент трения снижается при режимах электронно-ионно-плазменной обработки 1-3 по отношению к исходному сплаву в $\approx 1,5$ раза и по отношению к сплаву, облученному интенсивным импульсным электронным пучком, в $\approx 1,3$ раза. Электронно-ионно-плазменная обработка приводит к увеличению микротвердости в 3,1 раза (с энергией пучка электронов 25 Дж/см²). Электронно-ионно-плазменная обработка с энергией пучка электронов 35 Дж/см² приводит к увеличению HV в 4,3 раза и в 4,7 раза в зависимости от режима ЭВЛ. Структурно-фазовые методы исследования обнаружили формирование поверхностного слоя с неоднородным распределением атомов легирующих элементов, состоящего из многофазной субмикро- наноразмерной структуры, размеры кристаллитов которой изменяются в пределах от единиц до сотен нанометров.

В восьмом разделе приведены сведения об апробации результатов работы.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

В приложениях приведены справки и акты использования результатов работы в промышленности, научной деятельности и учебном процессе.

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

Оценивая диссертационную работу в целом положительно, вместе с тем необходимо высказать несколько замечаний.

1. Почему измерение нанотвердости производили только для сплава АК10М2Н? Почему не проводили измерения для сплава АК5М2.

2. На стр. 39, 183, 230 диссертации допущены опечатки «установлено», а не «установленно».

3. Число патентов, акты и справки о практическом использовании результатов работы выглядят вполне убедительно. Но как ведут себя структура и свойства модифицированной поверхности сплавов в процессе эксплуатации? Такие данные усилили бы работу.

4. При обсуждении результатов диссертации необходимо было провести сравнении с разными видами обработок. В диссертационной работе говорится только о сравнение воздействия интенсивного импульсного электронного пучка на сплав АК10М2Н и АК5М2, но не говорится о сравнении трех различных видах обработок. Такие данные усилили бы работу.

5. Какой объем выборки для статистического анализа использован в работе?

Вышеперечисленные замечания не снижают общей высокой оценки результатов, полученных в диссертации, и не ставят под сомнение основные выводы.

Заключение

Представленная работа является завершенным квалификационным трудом. Она написана на высоком научно-техническом уровне. Автореферат и написанные автором статьи полностью раскрывают содержание работы. В работе достигнута заявленная цель, а именно выявление физической природы и закономерностей формирования структурно-фазовых состояний, модификация свойств алюминия и доэвтектических силуминов, подвергнутых электронно-ионно-плазменным и магнитно-полевым воздействиям. Диссертационная работа имеет высокую практическую ценность, по содержанию, цели, задачам и положениям, выносимым на защиту, соответствует паспорту 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». Диссертационное исследование Д.В. Загуляева соответствует п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 и является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать, как научное достижение, и решена научная проблема установления механизмов и закономерностей формирования структурно-фазового состояния и свойств Al и AlSi сплавов, подвергнутых электронно-ионно-плазменным и магнитно-полевым воздействиям, внедрение которой вносит значительный вклад в развитие страны. Автор диссертации Загуляев Дмитрий Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Курзина Ирина Александровна,

доктор физико – математических наук (1.3.8 – Физика конденсированного состояния), доцент, заведующий кафедрой природных соединений, фармацевтической и медицинской химии Химического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

634055, Россия, Томск, пр. Ленина, 36

е – mail: kurzina99@mail.ru

тел.: 8-913-882-1028

Я, Курзина Ирина Александровна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«15» августа 2022 г. _____ И.А. Курзина

(подпись)

Подпись Курзиной И.А. удостоверяю

Ученый секретарь Ученого совета ТГУ



Сазонтова Н.А.