

УТВЕРЖДАЮ
Ректор Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования

«Тверской государственный
технический университет»

д. ф. м. н., профессор

А. В. Твардовский

« 06 » 12 2021 г.



ОТЗЫВ

**ведущей организации Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Тверской государственный технический университет» на диссертацию
Подрабинника Павла Анатольевича «Исследование вторичных структур на
поверхности трения сложнолегированных алюминиевых сплавов и их влияния
на трибологические свойства», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах**

1. Актуальность темы диссертации

Распространенность узлов трения, в частности, подшипников скольжения, их ответственные функции и тяжесть последствий отказа, ужесточение режимов эксплуатации и дефицит многих применяемых в их изготовлении материалов – всё это причины неослабевающего внимания исследователей к проблемам повышения надежности и эффективности таких узлов.

Конкретной целью диссертационной работы П.А. Подрабинника является разработка антифрикционных алюминиевых подшипниковых сплавов с повышенными триботехническими характеристиками на основе комплексного физико-химического исследования состава и структуры поверхностных слоев при трении. Результатом достижения указанной цели является как технический положительный эффект за счет повышения надежности подшипникового узла, так и существенный экономический эффект за счет снижения его стоимости, что свидетельствует об актуальности данной диссертационной работы.

Также к аргументам в пользу актуальности темы диссертационной работы можно отнести финансирование выполненных автором исследований в рамках федеральной целевой программы и гранта РНФ, поскольку актуальность является одним из критериев при экспертизе заявки на подобное финансирование.

2. Краткий анализ содержания диссертации

Введение диссертации включает: актуальность темы исследования; область, объект и предмет исследования; степень разработанности; цель работы, задачи и методы исследования; научную новизну; теоретическую и практическую ценность

работы; положения, выносимые на защиту; достоверность научных положений и выводов; апробацию результатов работы; публикации; структуру и объем диссертации.

Первая глава представляет собой аналитический обзор выполненных исследований по тематике диссертации.

Анализируются конструктивные схемы подшипников скольжения и формулируются требования, предъявляемые к конструкции и материалам подшипниковых втулок. Анализируются достоинства и недостатки применяемых в настоящее время подшипниковых материалов, в том числе на основе алюминия. Отмечается недостаточное внимание, уделяемое исследованию вторичных структур, образующихся в процессе трения на поверхности контактирующих деталей, а также необходимость более глубокого исследования процессов самоорганизации при трении, их роли в образовании вторичных структур на поверхностях трения и их влияния на триботехнические характеристики фрикционных пар.

Анализируются также недостатки, присущие алюминию как конструкционному материалу, которые затрудняют создание монометаллических подшипников из алюминиевых сплавов.

Вторая глава содержит подробное описание состава экспериментальных образцов алюминиевых сплавов, методики и результатов определения их механических свойств, методики трибологических испытаний, методов и аппаратуры для исследования микроструктуры, химического и фазового состава поверхностных слоев трущихся деталей. Методики трибологических испытаний продуманы и соответствуют решению поставленных задач, для исследования вторичных структур применяются современные физические методы исследования поверхностей и соответствующее аппаратное обеспечение.

Данная глава имеет большое значение для оценки достоверности и обоснованности полученных экспериментальных результатов. Ее содержание дает все основания для положительной оценки соответствия результатов, представленных в диссертации, указанным критериям.

В третьей главе приводятся результаты сравнительных испытаний первой серии опытных алюминиевых сплавов четырех составов. В качестве референсного материала выбрана бронза марки БрО4Ц4С17. Трибологические испытания включали испытания на прирабатываемость, задиростойкость и износостойкость. Все опытные сплавы показали более высокие трибологические характеристики по сравнению с референсной бронзой. Также существенным их достоинством является гораздо меньший износ стального контртела (вала) по сравнению с износом его в паре с референсной бронзой. Исследованы также состав и структура поверхностных слоев образцов из опытных сплавов. На основании результатов третьей главы уточнен состав второй серии опытных образцов алюминиевых подшипниковых сплавов.

Четвертая глава содержит результаты исследования второй серии опытных алюминиевых сплавов, уточненного по результатам предварительных испытаний (глава 3) состава. Определены основные фрикционные характеристики сплавов: прирабатываемость, задиростойкость, износостойкость. Более подробно

исследована роль мягких структурных составляющих алюминиевого сплава. Все образцы опытных сплавов подтвердили свои более высокие триботехнические характеристики по сравнению с бронзой. Этот вывод подкреплен результатами стендовых испытаний опытных монометаллических подшипников из алюминиевого сплава оптимального с точки зрения трибологических характеристик состава.

Пятая глава целиком посвящена анализу микроструктуры опытных алюминиевых сплавов в исходном состоянии (до испытаний на машине трения). Для выбора конкретных образцов предложен комплексный критерий износостойкости фрикционной пары, учитывающий износостойкость непосредственно алюминиевого сплава и стального контртела в сравнении с референсной парой сталь – бронза. По величине критерия выбраны два образца сплава для анализа их микроструктуры – с наилучшим и наихудшим сочетанием фрикционных характеристик. Определен элементный состав структурных составляющих. Результаты сопровождаются подробными комментариями.

Шестая глава. Представлен обширный экспериментальный материал по структуре и составу поверхностных и подповерхностных слоев двух алюминиевых сплавов с наилучшими и наихудшими триботехническими характеристиками. Эти результаты сами по себе имеют большую научную и практическую ценность.

Определен элементный состав вторичных структур с распределением их по поверхности трения и по глубине материала, а также толщина слоя вторичных структур. Установлено, что в формировании вторичных структур участвуют элементы смазочного материала с образованием новых композиций.

Проведена оценка влияния различных химических элементов на основные трибологические свойства вторичных структур: на величину массового износа и на коэффициент трения. Эти результаты являются новыми и также представляют большой интерес с научной и практической точек зрения. Однако здесь необходимо сделать следующее замечание. Представленные на рис. 6.32 – 6.38 графические зависимости являются по своей природе эмпирическими, статистическими. Сила таких зависимостей оценивается обычно с помощью соответствующих статистических показателей, например, коэффициента корреляции или коэффициента детерминации. Последние, в свою очередь, должны пройти проверку на статистическую значимость. К сожалению, таких данных в диссертации не приведено. Между тем, характер расположения экспериментальных точек на графиках свидетельствует, что, например, на рис. 6.34, 6.35, 6.37, 6.38 никакой статистически значимой зависимости не наблюдается. Соответственно, формально построенные на этих графиках линии тренда не несут никакой значимой информации.

В результате приведенных в главе 6 комплексных исследований делается обоснованный вывод о том, что поверхностный и подповерхностный слой трущихся деталей претерпевают существенные изменения по сравнению с исходным состоянием.

3. Научная новизна результатов исследований

Наибольший интерес представляют следующие результаты диссертации:

- совокупность экспериментальных данных по трибологическим характеристикам многокомпонентных алюминиевых сплавов;
- совокупность экспериментальных данных по структуре и составу поверхностных и подповерхностных слоев многокомпонентных алюминиевых сплавов и их эволюции в процессе трения;
- оценка влияния легирующих компонентов, в первую очередь, мягких структурных составляющих, на трибологические характеристики алюминиевого сплава;
- доказательство увеличения в процессе трения количества новых химических соединений практически всеми компонентами алюминиевого сплава, что свидетельствует о протекании трибохимических реакций в зоне трения;
- обоснование вклада трибохимических реакций и фазовых переходов в поверхностных слоях в диссипацию энергии при трении.

Эти результаты являются новыми, они развивают теоретические представления о физико-химических процессах, происходящих в поверхностных и подповерхностных слоях материалов при трении скольжения и позволяют наметить и обосновать пути управления этими процессами.

4. Значимость полученных результатов для науки и техники

Практическая значимость результатов диссертационной работы П.А. Подрабинника очевидна. Наиболее весомым доказательством служит разработка на основе выполненных исследований подшипникового алюминиевого сплава, доведенного до стадии стендовых испытаний в составе серийного изделия, которые подтвердили его повышенные эксплуатационные характеристики. Помимо эффекта от повышения этих характеристик, замена подшипниковой бронзы на алюминий и возможность изготовления монометаллического подшипника дают дополнительный технический и экономический эффект.

Полученная в результате экспериментальных исследований обширная база данных по структуре и составу поверхностных и подповерхностных слоев компонентов пары трения сталь-алюминиевый сплав будет, несомненно, полезна при разработке новых материалов и конструкций подшипников скольжения.

5. Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Выводы, сформулированные в диссертации, обоснованы представленными экспериментальными результатами и логично вытекают из них. Достоверность экспериментальных результатов обеспечивается комплексным характером исследования состава и свойств вторичных структур, применением тщательно продуманных экспериментальных методик, соответствующих поставленным задачам, а также современных физических методов исследования материалов и соответствующего аппаратного обеспечения. Результаты экспериментов подробно обсуждаются и комментируются автором, приводимая им аргументация представляется убедительной.

Косвенным подтверждением достоверности результатов диссертации можно считать публикацию части из них в высокорейтинговых рецензируемых научных изданиях.

6. Полнота изложения материалов диссертации в открытой печати

Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в 16 статьях, из которых 3 – в научных изданиях, рекомендованных ВАК, 9 – в изданиях, включенных в базы данных цитирования Scopus и Web of Science, 4 публикации в других научных изданиях. Также получено 3 патента РФ на изобретения.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на 7 международных научно-практических и научных конференциях. Опубликованные и доложенные на конференциях материалы достаточно полно отражают основное содержание диссертации. Содержание диссертации достаточно полно изложено в автореферате и в опубликованных работах, личный вклад автора подтвержден. Имеются ссылки на авторов и источники заимствования.

7. Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Считаем целесообразным продолжить исследования по разработке антифрикционных алюминиевых сплавов с целью повышения надежности и эффективности подшипников скольжения.

Материалы на основе многокомпонентных антифрикционных алюминиевых сплавов рекомендуется использовать на предприятиях, производящих, ремонтирующих и эксплуатирующих энергетическое, технологическое и транспортное оборудование, в частности, на предприятиях по ремонту подвижного состава и в локомотивных депо. Разработанные материалы могут быть использованы в нефтегазовой промышленности, судостроении, на городском транспорте.

Теоретические результаты по исследованию механизма образования вторичных структур при трении, по исследованию физико-механических и триботехнических свойств поверхностных слоев рекомендуется использовать при изучении курса «Материаловедение» и специальных дисциплин в ГТУ «Московский институт стали и сплавов» (МИСиС), в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ), Тверском государственном техническом университете и других высших учебных заведениях.

8. Замечания по диссертации

1. Отсутствует проверка статистической значимости предполагаемых зависимостей трибологических характеристик от процентного содержания того или иного химического элемента.

2. При описании методики экспериментов для лучшего понимания структурного состояния сплавов следовало бы описать способ выплавки экспериментальных сплавов и режимы последующего отжига.

3. Следовало бы более подробно аргументировать выбор материала контртела (стали 38ХНЗМА) и смазочного материала (моторного масла М14В2). Если выбор референсной бронзы объясняется ее широким использованием в подшипниках скольжения (стр. 40 диссертации), то никаких аргументов в пользу выбранной марки стали и смазочного материала не приводится.

4. В диссертации не указано, каким способом проводили измерения температуры образца, в частности, как были получены данные в табл. 4.2 на стр. 75.

5. Площадь пятна контакта после приработки образцов на машине трения на стр. 48 названа фактической, а на стр. 49 она стала называться контурной. Ни тем, ни другим в традиционно сложившемся в трибологии понимании терминов «фактическая» и «контурная» площади контакта она не является, и данные названия некорректны.

6. Для характеристики износостойкости материалов автор использует понятие «весовой износ» (например, стр. 70 – 72 диссертации), хотя правильнее называть его «массовый износ».

7. В таблице 1.4 на стр. 26 диссертации приведены значения σ_b – предела прочности на растяжение антифрикционных сплавов в МПа. Однако автор эту характеристику назвал удельной прочностью, что неверно. Удельная прочность – это отношение прочности к плотности материала. В той же таблице в качестве единиц измерения твердости по Бринеллю указаны МПа, что, по-видимому, является опечаткой и приведены просто числа твердости по шкале Бринелля.

8. В пункте «Степень разработанности темы исследований» фактически перечисляются фамилии исследователей, чьи работы так или иначе причастны к теме диссертации и оценки степени ее разработанности как таковой не дается. При дальнейшем подробном аналитическом обзоре данный пункт представляется излишним.

Однако наличие замечаний естественно для любой научной работы, оно не умаляет научной и практической ценности полученных автором результатов и не изменяет общей положительной оценки диссертации.

9. Заключение

Диссертационная работа Подрабинника Павла Анатольевича является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему; она обладает научной новизной и практической ценностью. Работа выполнена на высоком научном уровне и вносит существенный вклад в развитие представлений о закономерностях процессов трения и изнашивания в условиях граничной смазки. Результаты, полученные автором, представляются достоверными, а сделанные в работе выводы – обоснованными.

Содержание диссертации достаточно полно отражено в опубликованных научных работах и докладах на научных конференциях.


Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и позволяет составить адекватное представление о выполненных исследованиях и полученных результатах. Диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.5.3 «Трение и износ в машинах».

Таким образом, диссертация П.А. Подрабинника полностью отвечает критериям «Положения о присуждении ученых степеней» (пп. 9-11, 13, 14), утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, а ее автор Подрабинник Павел Анатольевич заслуживает присуждения

ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3 «Трение и износ в машинах».


Отзыв на диссертационную работу П.А. Подрабинника рассмотрен и утвержден единогласно на расширенном заседании кафедры «Прикладная физика» ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет» (протокол № 3 от 01.12. 2021 года).

Доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная физика»
ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет»


Измайлов Владимир Васильевич

170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22.
Тел. (4822)78-88-80, email: iz2v2@mail.ru

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Технология металлов и материаловедение» ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет»


Афанасьева Людмила Евгеньевна

170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22.
Тел. (4822)44-57-51, email: ludmila.a@mail.ru

Подписи В.В. Измайлова и Л.Е. Афанасьевой заверяю:

Ученый секретарь ученого совета ТвГТУ
д.т.н., профессор



А.Н. Болотов