

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Жаркова Станислава Юрьевича «Повышение износостойкости
меди при трении в атмосфере инертного газа методами
ионной имплантации и нанесения покрытий», представленной
к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния**

Актуальность темы диссертационной работы

В связи с повышением активности исследования космоса и применения космической техники возрастают требования, предъявляемые к космическим аппаратам, главным из которых является повышение срока активного существования на орбите. Ресурс работы на орбите сканеров-зондировщиков спутников дистанционного зондирования Земли определяется токоъемником в многоканальных вращающихся контактных устройствах, который осуществляет питание и снятие информационных сигналов с подвижного узла спутника. Возрастающие требования к ресурсу работы космических аппаратов, в частности спутников дистанционного зондирования Земли, делают разработку методов повышения износостойкости контактных щеток токоъемных устройств и установление зависимостей их изнашивания актуальной задачей.

Вышесказанное определяет актуальность диссертационной работы Жаркова С. Ю., которая посвящена разработке метода повышения износостойкости меди при трении в атмосфере инертного газа.

Общая характеристика диссертационной работы

Содержание работы включает введение, пять разделов, выводы, список литературы из 159 наименований и три приложения. Диссертация изложена на 174 страницах, содержит 10 таблиц и 67 рисунков.

Во введении обоснованы актуальность темы исследований, степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, представлены научная новизна, практическая значимость работы, апробация

«	10	АПР	2019	201	г.
вх. №	3				
индекс					

работы, публикации и личный вклад соискателя, описаны структура и объем диссертации.

Первый раздел является обзорным и посвящен изучению особенностей изнашивания меди и медных сплавов в условиях сухого трения скольжения и приложения электрического тока. Проведенный литературный обзор позволил Жаркову С. Ю. представить современное состояние по разработке закономерностей и механизмов изнашивания меди и ее сплавов и методов повышения их износостойкости, на основании чего были сформулированы цель и задачи исследования.

Второй раздел содержит в себе описание материалов исследования, режимов и условий имплантации ионов азота, режимов и условий осаждения покрытий на основе системы Cu–Mo–S, методов триботехнических и механических испытаний, методик исследования структурно-фазового состояния.

В третьем разделе диссертации исследованы триботехнические и механические свойства меди, имплантированной ионами азота, при трении в атмосфере аргона. Установлено, что износостойкость меди линейно возрастает до достижения флюенса ионов азота значения $9 \cdot 10^{17}$ ион/см², дальнейшее увеличение флюенса ионов приводит к снижению износостойкости. С помощью изучения структуры и фазового состава поверхностного слоя показано, что увеличение износостойкости вызвано измельчением зерен меди, твердорастворным упрочнением азотом, упрочнением частицами нанокристаллической фазы CuN₃, повышением плотности дислокаций и увеличением внутренних микронапряжений второго рода. Снижение износостойкости в области высоких значений флюенса ионов связано с увеличением размеров пор, образующихся в поверхностном слое меди в результате имплантации ионов азота.

В четвертом разделе представлены результаты исследования структурно-фазового состояния покрытия на основе системы Cu–Mo–S, осажденного методом импульсного магнетронного распыления композиционной мишени Cu/MoS₂. Установлено, что покрытие имеет двухуровневую структуру,

схема которой представлена в тексте диссертации. Изучены закономерности изнашивания покрытий на основе системы Cu–Mo–S при трении в паре с медным контртелом в среде аргона. Покрытие Cu–Mo–S повышает износостойкость меди более чем в 300 раз за счет смены механизма изнашивания с адгезионного на усталостное. Показано, что разработанное покрытие работает как твердая смазка, и предложено описание механизма работы такого покрытия. Исследованы электрические свойства полученных покрытий, и проведены триботехнические исследования с пропусканием электрического тока через контакт медного образца с покрытием Cu–Mo–S с медным контртелом. Установлено, что пропускание тока плотностью $0,05 \text{ мА/см}^2$ не влияет на изнашивание меди с покрытием Cu–Mo–S.

В пятом разделе показаны возможности практического использования полученных в диссертационной работе результатов, подтвержденных справками от ведущих предприятий Госкорпорации «Роскосмос». Указанные справки представлены в **приложении**.

В выводах приведены основные результаты, полученные в результате выполнения диссертационной работы.

Значимость полученных результатов для науки и практики

Научная новизна. В работе представлен ряд новых и важных научных результатов, основные из которых следующие:

– впервые методом импульсного магнетронного распыления получено твердосмазочное покрытие Cu–Mo–S на основе фазы $\text{Cu}_2\text{Mo}_6\text{S}_8$, содержащей в своем составе медь;

– исследовано структурно-фазовое состояние магнетронных покрытий системы Cu–Mo–S и представлена их структурная схема;

– изучены закономерности изнашивания покрытий на основе системы Cu–Mo–S при работе в атмосфере аргона в условиях сухого скольжения и в условиях приложения электрического тока.

Научная значимость результатов диссертационной работы связана с установлением механизмов снижения износа меди после имплантации ионов азота и осаждения твердосмазочного электропроводящего покрытия на основе системы Cu–Mo–S при изнашивании в инертной атмосфере.

Практическая значимость работы заключается в том, что ее результаты могут быть использованы при разработке новых токосъемных узлов, работающих в бескислородной среде.

Достоверность полученных результатов обусловлена корректностью постановки задач и формулировки выводов, применением современных методов и приборов исследования и подтверждается большим объемом непротиворечащих друг другу экспериментальных данных, их статистической обработкой.

Замечания по диссертационной работе

1. Объем диссертации превышает рекомендуемые ВАК 150 страниц. Это является, в частности, следствием того, раздел 1, содержащий литобзор, включает 46 страниц, а раздел 2, в котором отражены особенности методов исследования, – 36 страниц. Считаю, что эти разделы можно было сократить.

2. Литобзор содержит 38 источников, опубликованных более 30 лет назад, начиная с 40-х годов. Вряд ли в этом была необходимость.

3. В разделе 3 соискатель привел оригинальные результаты, полученные при комнатной температуре испытаний, однако не указал, какой является температура эксплуатации устройства. Это затрудняет оценку практической значимости работы.

4. Экспериментальные данные, представленные на рисунке 3.1, имеют статистическую погрешность, превышающую 10 %. Это не позволяет уверенно говорить о влиянии режимов обработки на износостойкость модифицированных слоев.

5. В разделе 4 автор отметил двуслойный характер структуры формируемых покрытий. При этом не объяснил, является ли этот результат новым,

зависит ли износостойкость покрытий от соотношения толщины отдельных слоев, можно ли управлять этим соотношением.

Высказанные замечания не снижают общую положительную оценку работы, которая выполнена на высоком научном уровне.

Результаты работы опубликованы в семи рецензируемых журналах, а также в сборниках трудов конференций. Основные результаты представлены на международных и всероссийских конференциях.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Жаркова Станислава Юрьевича «Повышение износостойкости меди при трении в атмосфере инертного газа методами ионной имплантации и нанесения покрытий» выполнена на актуальную научную тему и имеет как теоретическую, так и практическую ценность.

Все выводы, положения и рекомендации, приведенные в работе, являются обоснованными и соответствует критериям ВАК РФ, отраженным в разделе II «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук.

Представленная к защите диссертация требованиям, изложенным в пункте 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям и представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научные и технологические решения, что в свою очередь имеет значение в развитии современного машиностроения.

Считаю, что автор диссертации Жарков Станислав Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Доктор технических наук по специальности 01.04.07 –
физика конденсированного состояния,
профессор кафедры естественнонаучных
дисциплин имени профессора В. М. Финкеля
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Сибирский государственный
индустриальный университет» (СибГИУ)

доцент

Будовских Евгений Александрович

Контактная информация:

654006, г. Новокузнецк Кемеровской обл., ул. Кирова, д. 42

Тел.: +7 (3843) 46-22-77, +7 (906) 983-27-57

e-mail: budovskikh@mail.ru

Подпись официального оппонента Будовских Е. А. заверяю.

Проректор по научной работе и инновациям
ФГБОУ «Сибирский государственный
индустриальный университет»
доктор технических наук, профессор

М.В. Темлянцев