

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации «Повышение износостойкости меди при трении в атмосфере инертного газа методами ионной имплантации и нанесения покрытий», представленной Жарковым Станиславом Юрьевичем на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

В диссертационной работе выполнено изучение механизмов повышения износостойкости медных пар трения в условиях адгезионного изнашивания с использованием поверхностной обработки меди ионно-магнетронными методами. Повышение срока эксплуатации электроконтактной пары трения путем поверхностной модификации имеет большое практическое значение. Вопрос этот изучен мало. Несомненно исследование Жаркова С.Ю. выполнено на актуальном направлении.

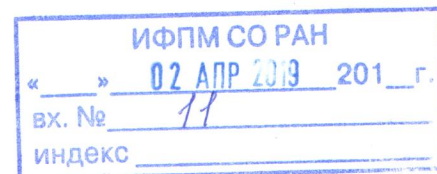
Материалом исследования была медь. Проводилась поверхностная обработка образцов пучками ионов азота. Был разработан метод ионно-магнетронного формирования электропроводящих покрытий на основе системы Cu-Mo-S. Изучалось изнашивание медных образцов с покрытием при работе в паре с медным контртелом в атмосфере аргона. Исследовались электрические характеристики покрытий и их триботехнические свойства. Микроструктура образцов изучалась методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии, использовался рентгеноструктурный анализ и масс-спектрометр вторичных ионов. Методы исследования являются современными и подходят для решения поставленных в диссертации задач. Жарков С.Ю. выполнил комплексное исследование, в результате которого были получены новые результаты и выводы. Отметим некоторые из них.

Определена оптимальная доза флюенса ионов азота при поверхностной обработке меди, в результате которой износостойкость меди повышается в несколько раз. Выявлены механизмы, способствующие повышению триботехнических свойств меди при имплантации ионов азота. Установлена двухуровневая структура покрытия на основе Cu-Mo-S, полученного импульсным магнетронным распылением. Детально изучено порообразование в процессе имплантации ионов азота в ионно-модифицированном слое и установлен критический размер пор, при котором снижается упрочняющий эффект, обусловленный измельчением зерен меди в поверхностном слое, твердорастворным и дисперсным упрочнением.

Отметим недостатки в работе.

1. На стр. 9 диссертант утверждает, что одной из причин повышения износостойкости меди после имплантации ионов азота является увеличение внутренних напряжений второго рода. Неясно, как они могут способствовать повышению износостойкости.

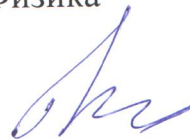
2. Рис. 3а, демонстрирующий изображение пор, следовало сделать более информативным. Поры не просматриваются.



Отмеченные недостатки не снижают общую хорошую оценку диссертационной работы. Результаты работы опубликованы. Диссертация соответствует специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния и техническим наукам.

По объему выполненного исследования, его актуальности, новизне полученных результатов и выводов их научному и практическому значению диссертация удовлетворяет требованиям ВАК предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п.9 «Положения о присуждении ученых степеней». Жарков С.Ю. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Заслуженный деятель науки РФ, профессор каф. физики ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», д.ф.-м.н., (специальность 01.04.07 – Физика конденсированного состояния), профессор (e-mail: [koneva@tsuab.ru](mailto:koneva@tsuab.ru))



/ Н.А. Конева

Подпись Коневой Нины Александровны удостоверяю.  
Ученый секретарь Ученого Совета ТГАСУ

Адрес: Томск-634003, пл. Соляная,2,  
ТГАСУ, кафедра физики,  
р.т. (3822)654-265



/ Ю.А. Какушкин



На обработку персональных данных согласна  
29.03. 2019 г