

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Шалыгина Михаила Геннадьевича

на тему: «Изнашивание субшероховатости поверхностей трения в водородосодержащей среде» по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» на соискание ученой степени доктора технических наук.

### 1. Актуальность избранной темы.

Часто воздействие водорода на поверхностный слой металла является решающим фактором и определяет срок службы деталей. Наиболее полно водородное изнашивание проявляется в поршневых кольцах двигателей внутреннего сгорания, битумных насосах, газотурбинном оборудовании и многих других узлах трения. Остро проблема водородного изнашивания стоит в узлах трения, работающих в водородсодержащих средах, что имеет место, в частности, в битумных насосах. В связи со сложным профилем зуба его поверхностное упрочнение носит весьма затруднительный характер. Незначительные отклонения в профиле зуба или качестве его поверхности приводят к сильным шумам при эксплуатации и интенсивному изнашиванию. Водородное изнашивание происходит на атомарном уровне, при этом в современной научной и технической литературе отсутствуют расчетные зависимости, позволяющие определить интенсивность изнашивания на уровне субшероховатости. Всё это свидетельствует об актуальности выбранной автором диссертации данной темы.

### 2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В работе использованы основные положения теории трения, теории изнашивания, известные закономерности проектирования комбинированных технологических воздействий, теории дислокаций, основные положения теории подобия, регрессионный и дисперсионные анализы, основные положения теории строения кристаллических тел, теории упругости и пластичности, теории усталостного износа, адгезионной теории и теории автоматического управления. Отдельные положения диссертации докладывались и обсуждались на международном семинаре «Функциональное упрочнение, повышение работоспособности рабочих поверхностей деталей машин и технологической оснастки» (ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, 29 мая 2014 г.).

### 3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Теоретические и эмпирические исследования проводились на базе современных представлений о нанонеровностях поверхностей металлических деталей. Достоверность результатов подтверждается экспериментальными исследованиями, применением современных технических средств при анализе, приемлемой сходимостью теоретических и эмпирических результатов, а также реализацией результатов исследований в промышленности.

Основные положения и наиболее важные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 10 международных конференциях.

Отдельные положения диссертации докладывались и обсуждались на международном семинаре «Функциональное упрочнение, повышение работоспособности рабочих поверхностей деталей машин и технологической оснастки» (ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, 29 мая 2014 г.).

Научные отчеты по материалам диссертационной работы являются лауреатами открытого конкурса на лучшую научную работу ученых Брянской области по естественным, техническим и гуманитарным наукам «Наука области - Брянщине» в 2014 и 2015 гг. Разработанные испытательные установки неоднократно становились лауреатами открытых конкурсов «Инновационные товары, созданные на предприятиях и в организациях Брянской области» и «На лучшее изобретение и рационализаторское предложение» в 2014, 2015 и 2016 гг.

### 4. Значимость для науки и практики полученных автором результатов:

- разработана математическая модель механического изнашивания поверхностей трения на уровне субшероховатости на основе усталостной теории изнашивания с учетом пластического и упругого контакта, а также среза, основанная на параметрах зернистости материала;

- разработана математическая модель молекулярного изнашивания поверхностей трения на уровне субшероховатости, на основе адгезионной теории, с применением положений теории дисперсионного взаимодействия, основанная на структуре и свойствах кристаллической решетки материала;
- доработана модель молекулярно-механического изнашивания субшероховатости поверхностей трения, включающая коэффициент, учитывающий влияние биографического водорода на износ;
- установлена корреляция субшероховатости и зернистости материала, получены уравнения связи размера зерна и шага субшероховатости;
- доказана возможность повышения износостойкости поверхностей трения, работающих в водородных средах за счет уменьшения их зернистости.

Отдельные результаты диссертационного исследования включены в план модернизации на ОАО «Клиновский завод поршневых колец» и внедрены на ООО «ПКК «Битнас» и ООО «Биттех», что подтверждается соответствующими актами. Экономический эффект от внедрения результатов исследования составил более 2,9 млн. руб.

#### **5. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

В данной диссертации автором:

- разработана и изготовлена автоматизированная машина трения, позволяющая проводить испытания на износ при вращательном или возвратно-поступательном движении;
- разработана и изготовлена установка для обезводороживания деталей;
- разработана и изготовлена установка для определения механического и молекулярного коэффициентов трения, а также силы адгезионного взаимодействия ювенильных металлических поверхностей;
- предложена и обоснована технология комплексной функционально-ориентированной обработки поверхностей трения, включающая термическую обработку, высоковакуумный отжиг и ионную имплантацию, повышающая износостойкость деталей, работающих в водородных средах;
- реализованы положительные результаты исследований в промышленности и получен экономический эффект на сумму более 2,9 млн. руб.

#### **6. Оценка содержания диссертации, ее завершенность.**

Диссертационная работа в себя включает:

- теоретическую модель молекулярно-механического изнашивания поверхностей трения на уровне субшероховатости;
- математическую модель механического изнашивания поверхностей трения на уровне субшероховатости, на основе усталостной теории, с учетом пластического и упругого контакта, а также среза;
- математическую модель молекулярного изнашивания поверхностей трения на уровне субшероховатости, на основе адгезионной теории, с применением положений теории дисперсионного взаимодействия;
- установленную взаимосвязь субшероховатости и зернистости материала, полученные уравнения связи зерна и субшероховатости;
- технологию комплексной функционально-ориентированной обработки поверхностей трения, включающую термообработку, высоковакуумный отжиг и ионную имплантацию, снижающую воздействие водородного изнашивания поверхностей трения и износ деталей в целом;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований поверхностей трения при различных методах обработки в условиях водородной среды.

Диссертация является завершённой работой и состоит из введения, шести глав, основных результатов и выводов, списка использованной литературы, содержащего 333 источника и приложений. Работа изложена на 235 страницах, содержит 64 рисунка и 26 таблиц. Общий объем работы составляет 254 страницы.

#### **7. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, мнение о научной работе соискателя в целом.**

Необходимо отметить достаточно высокий уровень самостоятельности соискателя учёной степени доктора технических наук Шалыгина Михаила Геннадьевича в связи с тем, что значительное количество публикаций сделаны единолично.

Другим большим достоинством соискателя является владение компьютером не только на уровне пользователя, но и как программиста, т.е. диссертация выполнена на современном уровне, когда автоматизированы процессы управления экспериментом. Более того, машины трения разработаны и запатентованы автором. Огромное число публикаций свидетельствует о научной новизне и практической значимости результатов разработок Шалыгина М.Г.

Однако, в диссертации имеются некоторые неточности, типа опечаток. Например, на 78 странице приведена формула  $a = v^2$ , что не имеет физического смысла, поскольку размерности обеих частей должны быть одинаковы. Здесь же «сила сопротивления опоры», точнее назвать было «силой реакции опоры». В обозначениях физических величин имеется неоднозначность: сила, которую нужно приложить, чтобы сдвинуть образец, обозначена через  $F$  и сила молекулярных связей – через  $A$ , площадь фактического контакта  $A$  и молекулярный износ тоже  $A$ , и постоянная Гамакера тоже  $A$ .

#### **8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.**

Таким образом, диссертация Шалыгина Михаила Геннадьевича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры  
«Математики, физики и информатики» ФГБОУ ВО  
«Брянский государственный аграрный университет»,  
почтовый адрес: 243365 Брянская обл, Выгоничский р-н,  
с. Кокино, ул. Советская, д. 2а, телефон 8-483-24124-562,  
адрес электронной почты: POG@BGSNA.com

\_\_\_\_\_  
(подпись)

/Погоньшев Владимир Анатольевич/  
(расшифровка подписи)

13.11.2017

