

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д999.112.02

на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет», Министерства образования и науки Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 05.12.2017 г. № 5

О присуждении Шалыгину Михаилу Геннадьевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Изнашивание субшероховатости поверхностей трения в водородсодержащей среде» по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» принята к защите 30 августа 2017 года, протокол № 2, диссертационным советом Д999.112.02 на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова российской академии наук, федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет», Министерства образования и науки Российской Федерации, 241035, г. Брянск, ул. 50 лет Октября, д. 7, приказ о создании диссертационного совета №1335/нк от 25.10.2016 года.

Соискатель, Шалыгин Михаил Геннадьевич, 1983 года рождения, работает доцентом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

С 2013 по 2016 гг. являлся докторантом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук

«Повышение износостойкости торцовых пар трения битумных шестеренных насосов» защитил в 2010 году, в диссертационном совете, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Управление качеством, стандартизация и метрология», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

**Научный консультант** – доктор технических наук, профессор, Суслов Анатолий Григорьевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет», профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».

**Официальные оппоненты:**

**Гриб Владимир Васильевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», профессор кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин»;

**Скотникова Маргарита Александровна**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», заведующая кафедрой «Машиноведение и основы конструирования»;

**Погонышев Владимир Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», профессор кафедры «Математики, физики и информатики», дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный



технический университет» г. Ростов-на-Дону в своем положительном заключении, подписанном Рыжкиным Анатолием Андреевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» и утвержденном Месхи Бесарионом Чохоевичем, доктором технических наук, профессором, ректором, указала, что диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения, заключающиеся в разработке теории изнашивания субшероховатости поверхностей трения и комплексной технологии, обеспечивающей повышение износостойкости деталей в водородсодержащих средах, которые имеют важное значение в области повышения долговечности узлов трения, работающих в водородсодержащих средах и соответствует пункту 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. № 842, а ее автор – Шалыгин Михаил Геннадьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах».

Соискатель имеет 80 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 37 работ общим объемом 18,4 печатных листа; 20 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях; 2 публикации в зарубежных изданиях, включенных в международные реферативные базы (Web of Science, Scopus). Получены 3 патента на полезную модель, 1 решение о выдаче патента на изобретение, 1 свидетельство на программу для ЭВМ. Публикации, в том числе, написанные в соавторстве, отражают результаты, полученные лично автором.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Суслев, А.Г. Усталостное изнашивание поверхностей трения на уровне субшероховатости / А.Г. Суслев, Д.Ю. Богомолов, М.Г. Шалыгин // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2015. – №4. – С. 7-10.

2. Суслев, А.Г. Адгезионный износ поверхности трения на уровне субшероховатости / А.Г. Суслев, В.В. Порошин, М.Г. Шалыгин // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2015. – №7. – С. 29-31.

3. Суслов, А.Г. Исследование поверхностей с различной механической обработкой на уровне субшероховатости / А.Г. Суслов, М.Г. Шалыгин, С.В. Кузнецов // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2015. – № 9. – С. 45-47.
4. Суслов, А.Г. Взаимосвязь нанонеровностей (субшероховатости) поверхности деталей и зернистости материала) / А.Г. Суслов, В.В. Порошин, М.Г. Шалыгин, С.В. Кузнецов // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2015. – № 11. – С. 3-7.
5. Шалыгин, М.Г. Формирование структуры в поверхностном слое деталей машин методами высоковакуумного отжига и ионной имплантации / М.Г. Шалыгин // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2016. – № 7. – С. 10-13.
6. Шалыгин, М.Г. Научно-техническая технология уменьшения водородного изнашивания рабочих поверхностей трения / М.Г. Шалыгин // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2016. – № 10. – С. 3-6.
7. Shalygin M.G. Correlation between Nano-Roughness with Grains of Austenitic Steel and Machining Quality. J. Fundam. Appl. Sci., 2016, 8(3S), 2835-2841.
8. Suslov A.G. and Shalygin M.G. The interrelation of the surface subroughness of martensitic steels with their granularity the quality of mechanical processing. AIP Conf. Proc. 1785, 040085 (2016).
9. Шалыгин, М.Г. Анализ взаимосвязей зерен материала и субшероховатости поверхности хромистой стали / М.Г. Шалыгин // Строительные и дорожные машины. – 2017. – №1. – С. 43-46.
10. Шалыгин, М.Г. Деформационно-адгезионное изнашивание нанонеровностей поверхностей трения мартенситных сталей / М.Г. Шалыгин, В.А. Кокунов, А.П. Лукавый, А.Б. Еловиков // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – №2. – С. 79-81.
11. Шалыгин, М.Г. Деформационно-адгезионное изнашивание субшероховатости поверхностей трения аустенитных сталей / М.Г. Шалыгин // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2017. – №2. – С. 98-101.
12. Суслов, А.Г. Научно-техническая технология повышения износостойкости поверхностей трения деталей машин, работающих в водородных средах / А.Г.



Суслов, М.Г. Шалыгин // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2017. – № 2. – С. 19-24.

13. Пат. 167592 РФ, МПК C21D3/06. Установка для обезводороживания деталей / Шалыгин М.Г.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Брянский государственный технический университет.— № 2016100499; заявл. 11.01.2016; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1.

**На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов. Все отзывы положительные:**

1. И.Г. Горячева, академик РАН, д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией трибологии ФГБУН «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН». Замечания: 1) в общей характеристике работы указано, что детали, работающие в водородсодержащей среде, также работают при высоких температурах. Из автореферата не ясно, учитывался ли температурный фактор в математических моделях, например при расчете объемов деформируемого материала; 2) в работе использован потенциал Леннарда-Джонса для описания энергии взаимодействия при адгезии, который, как известно, зависит от расстояния между атомами контактирующих тел. Однако в автореферате нет сведений об учете влияния контактных деформаций неровностей на число адгезионных связей.

2. А.Г. Наумов, д.т.н., профессор, профессор каф. «Экспериментальной и технической физики» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет». Замечания: 1) автором приводится общее уравнение связи среднего шага субшероховатости поверхности и среднего размера зерна, однако из автореферата не понятно, проверялась ли модель на адекватность; 2) в автореферате не указано, как влияет высоковакуумный отжиг на субшероховатость поверхности. Изменяется ли она или остается прежней?

3. Д.Г. Громаковский, д.т.н., профессор, директор научно-технического центра «Надежность технологических, энергетических и транспортных машин» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Замечания: 1) текст автореферата вызывает замечания по структуре построения и по отражению существа разработок диссертанта и их возможного применения в машинах за

пределами устройства двигателей внутреннего сгорания; 2) в тексте автореферата допущено большое количество опечаток и неотработанных формулировок (например, стр. 9 – замечание об изменении контактной нагрузки, стр. 12 – тривиальная констатация того, что шаг шероховатости зависит от обработки) и др.; 3) вызывает замечание внесение в п. 5 основных результатов и выводов положения, что приработка вводит в контакт субшероховатость и создает упругие и пластические деформации. В трибологии общеизвестно, что приработка всегда создает оптимальные условия контактирования, шероховатости, деформации и изнашивания.

4. Э.Л. Мельников, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технологии обработки материалов» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Замечания: 1) диссертант предлагает, как один из вариантов уменьшения зернистости материала, проведение термической обработки до мартенситной структуры. Из автореферата не понятно, как обезводороживание влияет на структуру материала и как данная структура вписывается в предложенную теоретическую модель; 2) в современных двигателях используют металлоплакирующие присадки для масел. Диссертантом не рассмотрено, какое влияние будет оказывать присадка на предложенную технологию уменьшения водородного изнашивания.

5. В.Ф. Гологан, д.т.н., профессор, научный консультант Института прикладной физики Академии наук Молдовы. Замечание: в автореферате не уделено отдельное внимание оценке влиянию нагрева сопряжения в процессе трения, а также требованиям, предъявляемым к подбору пар трения, работающих в водородной среде.

6. С.М. Гайдар, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология машиностроения» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Замечания: 1) автором предлагается модель молекулярно-механического изнашивания субшероховатости поверхностей трения при их работе в водородсодержащей среде. Однако, из автореферата не понятно, какой вклад в



общий износ вносит молекулярная составляющая, а какой механическая; 2) не указано, как регулировалось содержание водорода в водородсодержащей среде при проведении экспериментальных исследований.

7. П.М. Огар, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Машиноведение, механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Братский государственный университет». Замечания: 1) на стр. 8 автор утверждает, что «требуют уточнения вопросы взаимосвязи субшероховатости с другими неровностями поверхности». Вопрос: почему автор не использует фрактальную модель шероховатости, параметры которой постоянны для всех масштабов микронеровностей?; 2) учитывалась ли упрочняемость материала при расчетах изнашивания?

8. В.П. Инютин, к.т.н., председатель совета директоров ООО «Научно-производственное объединение «ГКМП». Замечание: из автореферата не понятно, какая конкретно водородсодержащая среда подразумевается в работе.

9. М.В. Струк, генеральный директор ООО «СтройДорм-УК» объединения Стройдормаш. Замечание: автор, к сожалению, не приводит стоимость изготовления разработанных технологических установок машины трения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

*разработаны:* - научная концепция молекулярно-механического изнашивания субшероховатости поверхностей трения, актуальная для процесса установившегося изнашивания, заключающаяся в усталостном описании процесса механического изнашивания и адгезионном описании процесса молекулярного изнашивания;

- методика и алгоритм автоматизации экспериментальных исследований пар трения, заключающейся в непрерывном измерении суммарного износа пары трения;

- комплексная функционально-ориентированная технология, обеспечивающая повышение износостойкости поверхностей трения, работающих в

водородсодержащих средах, за счет уменьшения размера зерна поверхностного слоя материала (термообработка); обезводороживания поверхностного межзеренного пространства (высоковакуумный отжиг); направленное создание препятствия проникновения водорода из водородсодержащей среды в межзеренное пространство поверхности трения при эксплуатации (ионная имплантация);

*предложены:* – математическая модель механического изнашивания субшероховатости поверхностей трения, на основе усталостной теории изнашивания, с учетом пластического и упругого контакта, а также среза, основанная на параметрах зернистости и кристаллической структуры материала;

– математическая модель молекулярного изнашивания субшероховатости поверхностей трения на основе адгезионной теории, с применением положений теории дисперсионного взаимодействия, учитывающая структуру и свойства кристаллической решетки материала и силу межмолекулярных связей;

– гипотеза (подтвержденная экспериментально) о том, что основной вклад в формирование субшероховатости вносит не технология обработки поверхности детали, а величина зерна материала поверхностного слоя;

– уравнения связи среднего размера зерна материала и среднего шага субшероховатости поверхности;

*доказано,* что математическая модель изнашивания субшероховатости адекватно описывает процесс изнашивания субшероховатости при установившемся режиме трения;

*введен:* – коэффициент, учитывающий наличие и концентрацию водорода, в математическую модель молекулярно-механического изнашивания субшероховатости поверхностей трения.

#### **Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

*доказана:* – связь субшероховатости поверхности и величины зерна поверхностного слоя материала посредством сопоставления средних размеров зерен материала и шага субшероховатости поверхности, которые получены посредством сканирующей зондовой микроскопии и обработаны методами регрессионного и дисперсионного анализа;



– возможность повышения износостойкости поверхностей трения, работающих в водородных средах за счет уменьшения величины зерна материала;

*применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с применением обладающих новизной результатов) использованы* понятийный и математический аппарат теорий трения и изнашивания, теории дислокаций, регрессионный и дисперсионные анализы, теории строения кристаллических тел, теорий упругости и пластичности, теории усталостного износа и адгезионной теории;

*изложены:* – гипотеза о корреляции среднего размера зерна материала со средним шагом субшероховатости поверхности;

– уравнения связи среднего размера зерна и среднего шага субшероховатости для рассматриваемых сталей, а также предложено общее уравнение связи для сталей с объемноцентрированной тетрагональной решеткой;

*изучены:* – механизмы формирования и процессы изнашивания субшероховатости поверхностей трения;

– взаимосвязи субшероховатости поверхности с размерами зерен материала и шероховатостью поверхности;

– влияние наличия и концентрации водорода в материале на интенсивность изнашивания поверхностей трения;

– влияние размеров зерен материала на интенсивность изнашивания в водородсодержащей среде.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

*использование* полученных теоретических уравнений молекулярно-механического изнашивания субшероховатости позволяет расчетным способом оценивать износ поверхностей трения, работающих в водородсодержащих средах;

*разработаны и внедрены* в научный, производственный и учебный процессы:

– автоматизированная машина трения, позволяющая проводить непрерывные испытания на износ при вращательном или возвратно-поступательном движении;

– технологическая установка для осуществления высоковакуумного отжига

(обезводороживания) и термического наводороживания деталей машин;

– установка для определения механического и молекулярного коэффициентов трения и силы межмолекулярного взаимодействия ювенильных металлических поверхностей;

– технология комплексной функционально-ориентированной обработки поверхностей трения, включающая термическую обработку, высоковакуумный отжиг и ионную имплантацию, обеспечивающая повышение износостойкости деталей, работающих в водородных средах;

*определены:* – эмпирические коэффициенты, учитывающие влияние водорода на износ для поверхностей трения, изготовленных из сталей 45, 40Х и 40Х13;

– режимы обезводороживания и ионной имплантации кремнием, способствующие повышению износостойкости поверхностей трения, работающих в условиях водородсодержащей среды;

*даны:* – рекомендации по назначению рациональных значений параметров субшероховатости для узлов трения, работающих в водородных средах;

– рекомендовано наряду с параметрами шероховатости  $Ra$ ,  $Sm$  и  $tp$  шире использовать стандартизованный параметр  $s$  (шаг между вершинами локальных выступов), который определяется зернистостью материала;

*представлены:* – методика экспериментального определения коэффициента, учитывающего влияние концентрации водорода в материале на его износ.

### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*для экспериментальных работ* результаты получены на сертифицированном оборудовании, обоснованы калибровки разработанных экспериментальных стендов и установок, показана приемлемая сходимость результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных;

*теория*, построенная с использованием известных, повторяющихся данных, корректно согласуется с опубликованными и собственными экспериментальными данными по теме диссертации и по смежным отраслям;

*идея базируется* на обобщении передового отечественного и зарубежного опыта в области изнашивания в водородсодержащей среде и на основе анализа



существующих теоретических и экспериментальных исследований субшероховатости поверхностей трения;

*установлено*, что результаты диссертационного исследования не противоречат научным исследованиям в областях трения и износа и дополняют их в части подхода к описанию процесса изнашивания субшероховатости при работе узлов трения в водородсодержащих средах;

*использованы* современные методики сбора и обработки исходной информации.

**Личный вклад соискателя состоит в** непосредственном участии автора на всех этапах подготовки диссертационной работы, включая: анализ теоретических положений и методов уменьшения износа в водородсодержащей среде; разработку математической модели молекулярно-механического изнашивания субшероховатости; создания компьютерных программ испытаний и обработки экспериментальных данных; разработку и тарировку экспериментальных стендов и установок; проведение экспериментальных испытаний; обработку и интерпретацию экспериментальных данных; подготовку основных публикаций по выполненной работе; формулирование положений, выводов и результатов диссертационного исследования.

Диссертация соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней ВАК РФ. В работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, заключающиеся в разработке теории изнашивания субшероховатости поверхностей трения в водородсодержащих средах и комплексной технологии, обеспечивающей повышение износостойкости деталей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, заключающийся в повышении долговечности узлов трения, работающих в водородсодержащих средах.

На заседании 05 декабря 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Шалыгину М.Г. учёную степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.02.04, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 23, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель

диссертационного совета,

доктор технических наук, профессор

  
Олег Николаевич Федонин

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент

Виктор Александрович Хандожко

05 декабря 2017 г.

