



УТВЕРЖДАЮ
директор ИФПМ СО РАН
Д.Т.И. Е.А. Колубаев
«08» июня 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИФПМ СО РАН)

Диссертация «**Структура и механизмы разрушения поверхностных слоёв металлических материалов в экстремальных условиях трения и скользящего токосъёма**», представляемая на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния, выполнена в лаборатории физики упрочнения поверхности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН).

В период подготовки диссертации (с 1995 г.) соискатель **Фадин Виктор Вениаминович** (дата рождения 23.10.1951 г.) работал старшим научным сотрудником (с 01.09.1995 г.) лаборатории физики упрочнения поверхности ИФПМ СО РАН. В настоящее время работает в должности старшего научного сотрудника упомянутой лаборатории.

В 1974 г. В.В. Фадин окончил Томский государственный университет (ТГУ), в настоящее время Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (НИ ТГУ) по специальности «Физика и прикладная математика». С 15.01.1975 г. по 25.05.1979 г. работал в СФТИ при ТГУ. С июня 1979 г. работал в ИОА СО РАН в должности младшего научного сотрудника. С декабря 1984 г. работал в ИФПМ СО РАН. В 1994 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 Физика твердого тела на тему «Износостойкость композиционных материалов с микро- и макрогетерогенной структурой, полученных методами СВС» в диссертационном совете Д 003.61.01 при ИФПМ СО РАН (диплом кандидата технических наук КТ № 006467 от 07.04.1995 г.).

Научный консультант: Колубаев Александр Викторович – доктор физико-математических наук, профессор, зав. лабораторией физики упрочнения поверхности ИФПМ СО РАН (основное место работы).

По итогам обсуждения диссертационной работы принято следующее заключение:

Актуальность темы диссертации

Необходимость создания объектов новой техники, узлы трения которых должны работать в тяжёлых условиях (вакуум, пониженные и повышенные температуры, высокие скорости и нагрузки, агрессивные среды, сильная радиация и т.п.), повышает требования к материалам пары трения – подшипникам, тормозам,

передаточным устройствам, уплотнениям и пр. Это указывает на актуальность работ, направленных на создание новых функциональных триботехнических материалов или на создание новых трибосочетаний известных материалов для оснащения узлов трения с высокой износостойкостью. Однако успехи в создании таких материалов или таких узлов трения и обеспечение оптимальных условий их эксплуатации зависят от достаточно глубокого понимания механизма трения и износа.

Триботехнические материалы имеют, как правило, композиционную первичную структуру. Такая структура получена обычно методами порошковой металлургии, в первую очередь, методами спекания в вакууме, в инертном газе и т.п. Новизна этих методов практически исчерпана, поэтому новые функциональные материалы должны иметь новые особенности первичной структуры или структуры контактного слоя, или должны быть получены способами, имеющими отличительные особенности, или иметь новые приложения с нестандартными условиями трения, например, трения с высоким внешним энергетическим воздействием на поверхностный слой. Материалы, предназначенные для работы в этих условиях, обычно имеют предварительно упрочнённый контактный слой с целью повышения его предела текучести и создания квазиупругого контакта. Однако в некоторых случаях внешнее воздействие вызывает неизбежную пластическую деформацию поверхностного слоя, приводящую к его сдвиговой неустойчивости на макромасштабном уровне и к износу материала. Настоящая диссертация посвящена изучению закономерностей и особенностей поведения материалов в этих экстремальных условиях трения представляет научный и практический интерес. Результаты таких исследований могут быть полезны при поиске путей создания новых функциональных материалов для этих условий. Поэтому актуальность таких работ не вызывает сомнений.

Оценка выполненной соискателем работы. Диссертация В.В. Фадиной является научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных исследований разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение по комплексному исследованию механизмов деформации поверхностных слоёв металлических материалов в скользящем контакте при высокоэнергетических внешних воздействиях. Это способствует решению такой важной научной проблемы, как предсказание на качественном уровне триботехнического поведения металлических материалов в тяжелых условиях трения и обоснованное задание конструкции материала для создания узла трения с высокой износостойкостью.

Основные результаты, полученные соискателем впервые:

Обнаружена аномальная концентрационная зависимость теплопроводности микрогетерогенных материалов, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и предложен расчёт теплопроводности, позволяющий составить новую трактовку этого явления.

Обнаружена взаимосвязь между триботехническими характеристиками, теплопроводностью и особенностями структуры СВС-композитов, способных к релаксации напряжений на двух уровнях. Это послужило основой создания нового

композита со структурой, способной к релаксации напряжений на трёх уровнях и проявляющей высокую износостойкость при скольжении с экстремально высоким давлением.

Установлено, что удельная мощность на пятнах контакта, приводящая к предельному состоянию поверхностного слоя при граничном трении с высоким контактным давлением и со скоростью менее 1 м/с, не превышает 0,1 МВт/см². Предельное состояние поверхностного слоя при сухом скольжении со скоростью 5 м/с под воздействием электрического тока достигается при удельной мощности на пятнах контакта в пределах (0,4-1) МВт/см².

Найдена закономерность, согласно которой первичная структура, упрочненная твёрдыми растворами или химическими соединениями (интерметаллидами и т.п.) проявляет низкую прочность в зоне контакта и разрушается по разным механизмам, в частности, вследствие неограниченного пластического течения, образования вязких трещин при адгезии и т.п. в зависимости от условий триботехнического нагружения.

Установлено, что при сухом скольжении с плотностью тока в пределах 20-70 А/см² и при удельной мощности менее 0,3 МВт/см² в пятнах контакта первичной структуры происходит структурное превращение как способ релаксации напряжений и образуется трибослой, толщина которого увеличивается при увеличении плотности тока. В материалах с упрочненной многоэлементной первичной структурой формируется трибослой с большой толщиной (до 50 мкм) и с высокой концентрацией несплошностей (пор, трещин и т.п.) в предельном и близких к предельному структурных состояниях. Предложена полуэмпирическая оценка удельного электросопротивления трибослоя после скольжения с токосъёмом. Оно может превышать удельное электросопротивление первичной структуры более, чем в 70 раз.

Показано, что рассчитанная или измеренная средняя температура контакта материалов с многоэлементной первичной структурой выше, чем температура контакта чистых материалов. Эта температура не превышает 350 °С в предельном состоянии трибослоя при сухом скольжении с токосъёмом. В предельном состоянии поверхностного слоя при граничном трении под высоким давлением принимает значения более 400 °С в зависимости от состава.

Отмечено, что на поверхности трения наблюдаются следы вязкого пластического течения и признаки образования жидкости. Плавление поверхности трения является дополнительным способом релаксации напряжений за счёт пластической деформации, соответствует высокой устойчивости трибослоя к сдвигу на макромасштабном уровне и наблюдается наиболее явно в контакте теплопроводных материалов на основе меди.

Установлено, что задание модельного плавления поверхности трения путём введения расплава олова и свинца в контактное пространство приводит к некоторому увеличению износостойкости, но расплав не защищает поверхностный слой от пластической деформации и не приводит к заметному увеличению его устойчивости к макроскопическому сдвигу с низким износом.

Научная и практическая значимость

Полученные данные имеют фундаментальную направленность и вносят существенный вклад в понимание закономерностей контактного взаимодействия пластически деформируемых поверхностных слоёв в процессе скольжения. Найденные взаимосвязи первичной структуры, структурных изменений поверхностного слоя и износостойкости расширяют представления о физических механизмах разрушения поверхности трения и позволяют более обоснованно предсказать эффективность применения какого-либо материала в тяжелых режимах трения.

Приведены обоснования того, что материал, первичная структура которого упрочнена легированием или фазами, не способен к быстрой и глубокой релаксации напряжений за счёт пластической деформации или других механизмов. Тогда формируется сдвигонеустойчивый поверхностный слой, который разрушается быстрее поверхностного слоя неупрочненного материала в лабораторных и промышленных условиях.

Впервые экспериментально обнаружен эффект плавления поверхности трения под воздействием электрического тока из-за пластической деформации трибослоя. Отмечено, что к настоящему времени это наблюдается только при скольжении с токомсёмом и является одним из удовлетворительных способов релаксации напряжений, обуславливающим высокую износостойкость. Однако осуществление модельного скольжения со специально созданным расплавом легкоплавких металлов в контактом пространстве в условиях токосьёма не привело к заметному уменьшению интенсивности изнашивания, что указывает на неэффективную релаксацию напряжений с помощью этого расплава.

Разработан новый способ получения низкопористых микрогетерогенных композитов на основе карбида титана с металлической связкой путём прессования в волне технологического горения (А.С. 1429441 СССР, В 22 F 3/02, А.С. №1746739 СССР, С22С 32/00, 30/04, А.С. №1764252 СССР В22F1/00, С22С 9/00, 14/00, 30/02). Обоснована возможность их применения в качестве несущей структурной составляющей для создания композитов с иерархической структурой, пригодных к применению в условиях буровой скважины.

Изучена взаимосвязь условий трения, характеристик контакта и состава каркасного спечённого композита на основе стали ШХ15, восстановленной из шлифовального шлама. Определены технологические параметры опытного композита, проявляющего износостойкость более высокую, чем износостойкость серийных материалов в условиях эксплуатации. Разработана технология серийного изготовления опытных подшипников скольжения из такого композита (Патент РФ № 2101380, С1, 6С22 38/20) и поставлена партия (15000 шт.) для тормозной системы ж/д вагонов.

Результаты работы позволяют сформулировать рекомендации для выбора первичной структуры новых токосьёмных материалов (Патент РФ на изобретение № 2506334, Патент РФ на изобретение № 236897). износостойких при сухом скольжении с плотностью тока более 100 А/см^2 , что должно быть полезным при разработке щеток малогабаритного электродвигателя с высокой мощностью или других скользящих электроконтактов высокой удельной мощности.

Достоверность результатов и обоснованность выводов

Достоверность результатов и обоснованность выводов обеспечены корректной постановкой задач; использованием современных взаимодополняющих методов исследования структуры и свойств на сертифицированном исследовательском оборудовании; повторяемостью выявленных закономерностей; согласованием результатов, полученных различными методами; сопоставимостью результатов с данными других авторов.

Личный вклад автора в работу состоит в выборе направления исследований, постановке задач и разработке плана работ, обработке, анализе и обсуждении полученных результатов и сопоставлении их с литературными данными, формулировании основных положений и выводов. Все результаты диссертации получены автором лично в индивидуальных или коллективных исследованиях.

Основное содержание работы изложено в 47 публикациях, из них 26 статей в научных журналах из перечня ВАК, 13 статей в журналах, включенных в библиографическую базу данных цитирования Web of Science и Scopus, 8 патентов.

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК:

1. **Фадин, В.В.** О теплопроводности композиционных материалов, содержащих карбид титана / В.В. Фадин, А.В. Колубаев // Письма в ЖТФ. – 1995. – Т.21. – № 16. – С. 33-36.
2. **Фадин, В.В.** Фазовые равновесия в композитах, полученных методом СВС / В.В. Фадин, А.В. Колубаев, В.Е. Панин. // Изв. вузов. Физика. – 1993. – №2. – С.21-24.

в переводной версии журнала:

An analysis of phases in Ti-based composites obtained by self-propagating high-temperature synthesis. V. V. Fadin, A. V. Kolubaev, V. E. Panin. Russian Physics Journal, vol.36, pages 118–120 (1993).

3. **Фадин, В.В.** Композиты на основе карбида титана, полученного методом технологического горения / В.В. Фадин, А.В. Колубаев, М.И. Алеутдинова / Перспективные материалы. – 2011. – №4. – С. 91-96.
4. **Фадин, В.В.** Трение композитов, содержащих карбид титана, полученный методом технологического горения / В.В. Фадин, А.В. Колубаев, М.И. Алеутдинова // Трение и износ. – 2011. – Т.32. – №6. – С. 489-494.

в переводной версии журнала:

Friction of composites based on titanium carbide produced by the process combustion method. V.V. Fadin, A.V. Kolubaev, M.I. Aleutdinova. Journal of Friction and Wear 32 (6), 462-466.

5. Колубаев, А.В. Трение и изнашивание композиционных материалов с многоуровневой демпфирующей структурой / А.В. Колубаев, **В.В. Фадин**, В.Е. Панин // Трение и износ. – 1997. - Т.18. - №6. – С.790-797.
6. **Фадин, В.В.** Характер разрушения поверхности трения композитов на основе карбида титана, полученного методом СВС / В.В. Фадин, А.В. Колубаев, М.И. Алеутдинова // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – №4. С. 26-30.

7. **Фадин, В.В.** Структура и механические свойства порошковых материалов на основе переработанной стали ШХ15 / В.В.Фадин, М.И. Алеутдинова, М.Д. Борисов, А.В. Колубаев // Изв.вузов. Чёрная металлургия. – 2001. – №2. – С. 31-34.:
8. **Фадин, В.В.** Влияние полярности внешнего электрического поля на износостойкость спеченного композита на основе стали Г13 / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова // Перспективные материалы. – 2006. – №1. – С. 62–67.
9. **Фадин, В.В.** Влияние содержания меди на износостойкость композитов, имеющих основу из переработанной стали ШХ15, при трении с токосъёмом / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова // Трение и износ. – 2009. – Т.30. – №6. – С. 449 – 454.

в переводной версии журнала:

The effect of copper concentration on the wear resistance of composites based on recycled ShKh15 steel during friction with current collection. V.V. Fadin, M.I. Aleutdinova. Journal of Friction and Wear 30 (6), 449-454.

10. **Фадин, В.В.** Износостойкость композитов на основе переработанной подшипниковой стали в условиях скользящего электроконтакта / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова // Трение и Износ. – 2007. – Т.28. – №4. – С. 381–387.

в переводной версии журнала:

Wear resistance of composites for sliding electrical contact from reprocessed bearing steel. V.V. Fadin, M.I. Aleutdinova. Journal of Friction and Wear 28 (4), 364-369.

11. **Фадин, В.В.** Влияние давления на износостойкость композиционных материалов, содержащих сталь ШХ15, в условиях скользящего токосъёма / В.В.Фадин, М.И. Алеутдинова // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – №4. – С. 22–25.

12. **Фадин, В.В.** Износостойкость скользящего электроконтакта, содержащего переработанную сталь ШХ15 / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова // Трение и износ. – 2008. – Т.29. – №5. – С. 524–530.

в переводной версии журнала:

Wear resistance of a sliding electric contact containing recycled ShKh15 steel. V.V. Fadin, M.I. Aleutdinova. Journal of Friction and Wear 29 (5), 386-391.

13. **Фадин, В.В.** О роли меди в формировании параметров зоны контакта металлических композитов при нагружении трением и электрическим током / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова, А.В. Колубаев // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т.56. – №12/2. – С. 208-212.

14. **Фадин, В.В.** Влияние концентрации меди в первичной структуре металлических графитсодержащих композитов на состав поверхностного слоя и характеристики контакта / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова // Материаловедение. – 2014. – №5. – С. 46– 50.

15. **Фадин, В.В.** Изменения структуры поверхностного слоя металлических материалов при нагружении трением и электрическим током / В.В. Фадин / Известия вузов. Физика. – 2013. – Т.56. – №4. – С. 16– 21.

в переводной версии журнала:

Changes in the structure of the surface layer of metal materials upon friction and electric current loading. V. V. Fadin. Russian Physics Journal, vol.56, pages 378–383 (2013).

16. Алеутдинова, М.И. Взаимосвязь характеристик контакта и элементного состава поверхностного слоя металлических композитов после трения с током / М.И. Алеутдинова, **В.В. Фадин** // Материаловедение. – 2013. – №3. – С. 31–36.

17. Алеутдинова, М.И. Связь электропроводности и износа контакта металлических композитов в условиях трения с током / М.И. Алеутдинова, **В.В. Фадин** // Материаловедение. – 2011. – №8. – С. 23–28.

18. Алеутдинова, М.И. Об изнашивании металлических композитов под действием трения скольжения и электрического тока / М.И. Алеутдинова, **В.В. Фадин**. / Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2012. – №8 – С. 13– 18.

19. **Фадин, В.В.** Изменение свойств зоны трения металлических композитов под действием электрического тока и расплава Pb-Sn в контактном пространстве / В.В. Фадин // Трение и износ. – 2011. – Т.32. – №5. – С. 502– 510.

в переводной версии журнала:

Variations in the properties of the friction zone of metallic composites under the effect of electric current and Pb-Sn melt in the contact gap. V. V. Fadin, Journal of Friction and Wear, vol. 32, Article number: 379 (2011)

20. **Фадин, В.В.** Особенности состояния поверхностного слоя металлических материалов под воздействием сухого скольжения и электрического тока / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова, А.И. Потекаев, О.А. Куликова // Известия вузов. Физика. – 2017. – Т. 60. – №5. – С. 147-153.

в переводной версии журнала:

The Surface Layer States in Metallic Materials Subjected to Dry Sliding and Electric Current. V. V. Fadin, M. I. Aleutdinova, A. I. Potekaev, O. A. Kulikova. Russian Physics Journal, vol. 60, pages 908–914 (2017).

21. Алеутдинова, М.И. Об изнашивании металлических материалов, нагруженных трением скольжения и электрическим током высокой плотности / М.И. Алеутдинова, **В.В. Фадин**, А.В. Колубаев // Письма о материалах. – 2014. – Т.4. – №3. – С. 149–152.

22. **Фадин В.В.** Изменение электросопротивления контакта металлический композит - сталь под действием трения и электрического тока / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова. ЖТФ, 2010. - Т.80. - №12. - С.95-100.

в переводной версии журнала:

Change in the electrical resistance of the metallic composite material-steel contact under friction and electric current. V.V. Fadin, M.I. Aleutdinova. Technical Physics 55 (12), 1802-1807.

23. **Фадин, В.В.** Влияние электрического тока высокой плотности на износ и среднюю температуру трибоконтакта сталь/сталь / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова, А.В. Колубаев // Трение и износ – 2018– Т.39. – №4. – С. 24–28.

в переводной версии журнала:

Effect of High-Density Electric Current on Wear and Average Temperature of Steel/Steel Triboelectric Contact. V. V. Fadin, M. I. Aleutdinova, A. V. Kolubaev. Journal of Friction and Wear, vol.39, pages 294–298 (2018).

24. **Фадин, В.В.** Изменение электропроводности скользящего контакта при появлении расплава Pb-Sn в контактном пространстве / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова // Известия вузов. Физика. – 2012. – №9. – С. 454–459.

в переводной версии журнала:

Changes in the electric conductance of sliding contacts under occurrence of a Pb–Sn melt in the contact space. V. V. Fadin, M. I. Aleutdinova. Russian Physics Journal, vol. 55, pages 1028–1033 (2013).

25. Алеутдинова, М.И. Изменение характеристик скользящего контакта металлических графитсодержащих композитов под действием электрического тока и расплава Pb-Sn в контактном пространстве / М.И. Алеутдинова, **В.В. Фадин** // Вопросы материаловедения. – 2013. – №2 (74). – С. 53–58.

26. **Фадин, В.В.** Изменение электрического сопротивления зоны трения металлических композитов при введении расплава Pb-Sn на поверхность контакта / В.В. Фадин, М.И. Алеутдинова // Прикладная механика и техническая физика. – 2012. – Т.53. – № 3. – С. 144–149.

в переводной версии журнала:

Change in the electrical resistance of the friction zone of metal composites with the addition of a Pb-Sn melt. V.V. Fadin, MI Aleutdinova. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics 53 (3), 432-436.

Статьи в журналах, включенных в библиографические базы данных цитирования Web of Science и Scopus:

1. Aleutdinova, M.I. Metall composite materials for tribotechnical units / M.I. Aleutdinova, **V.V. Fadin**, S.U. Tarasov, A.V. Kolubaev // YuTrib'95, 4 Yugoslav conf. –1995. – P. 46.
2. Kolubaev, A. Gefuge und tribologische Eigenschaften von Sintermaterialen aus Pulverabfallen der Kugellagerfertigung / A. Kolubaev, O. Sizova, **V. Fadin**, S. Tarasov, M. Aleutdinova // Fachzeitschrift fur Handel, Wirtsch. Technic und Wissenschaft. – 1996. – Jahrgang 50. – №5.– S. 337-339.
3. Aleutdinova, M. Utilization of industrial wastes of metal machining and bimetals using the technology of powder metallurgy. M. Aleutdinova, **V. Fadin**, I. Kochevasov, A. Kolubaev // Proc. Int. Conf. «Deformation and Fracture», IMR-SAS. Kosice. – 1996. – Vol. 1. – P. 376-382.
4. **Fadin, V.** Metallic composites. Materials for tribotechnical units. V. Fadin, M. Aleutdinova, A. Kolubaev, S. Tarasov // Proc of 7 Int. conf. «Tribo technics in theory and practice», 21-24.04. 1997, Scalsky Dvur, Czech Re- public, Securcon, Praha, Part 1. – 1997. – P. 94-99.
5. Kolubaev, A. Tribotechnical ball bearing steel powder based composites / A. Kolubaev, **V. Fadin**, M. Aleutdinova, S. Tarasov // Abstract of advanced materials and processes 4 Sino-Russian Simp. «Beying». –1997. – P. 84-86.
6. **Fadin, V.V.** Average Contact Temperature and Morphological Details of the Worn Surface of Copper Based Materials under High Current Density Sliding against

- Steel / V.V. Fadin, M.I. Aleutdinova, O.A. Kulikova // AIP Conf. Proc. – 2016. – Vol. 1783. – 020051.
7. **Fadin, V.V.** Surface Layer Structure and Average Contact Temperature of Copper Containing Materials under Dry Sliding with High Electric Current Density / V.V. Fadin, M. I. Aleutdinova, V. E. Rubtsov, K.A. Aleutdinov // AIP Conf. Proc. – 2016. – Vol. 1783. – 020054.
 8. **Fadin, V.V.** Morphological Features of the Copper Surface Layer under Sliding with High Density Electric Current of High Density / V.V. Fadin, M.I. Aleutdinova, V.Ye. Rubtsov, V.A. Aleutdinova // AIP Conf. Proc. – 2015. – Vol. 1683. – 020052.
 9. Aleutdinova, M.I. Contact Characteristics of Metallic Materials in Conditions of Heavy Loading by Friction or by Electric Current / M.I. Aleutdinova, **V.V. Fadin**, A.V. Kolubaev, V.A. Aleutdinova // Friction and Wear Research (FWR). –2014. – Vol.2. – P. 22–28.
 10. **Fadin, V.V.** Wear Resistance of Carbon Steels and Structure Parameters of Their Surface Layer After High Current Density Sliding / V.V. Fadin, M. I. Aleutdinova // Russian Physics Journal. – 2016. –Vol. 58. – Iss. 12. – P. 1726–1731.
 11. Kolubaev, A.V. New wear resistance materials and hardening techniques for drilling bit slide bearings / A.V. Kolubaev, **V.V. Fadin**, O.V. Sizova, G.V. Trusova, S.U. Tarasov // Exploitation problems of machines. – Warszawa. - 1995. – P. 334-337.
 12. **Fadin V.V.**, Aleutdinova M.I. The effect of solid solutions in the primary structure of composites on the stability of their surface layers during shear in dry sliding contact with high electric current density // AIP Conference Proceedings 2167. 020011(2019); <https://doi.org/10.1063/1.5131878>.
 13. **Fadin V.V.**, Aleutdinova M.I. The effect of the phase composition of metallic materials on their wear in a sliding electric contact // AIP Conference Proceedings 2310, 020089 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0034177>.

Публикации в прочих научных изданиях:

1. Патент РФ №2101380, С1, 6С22 38/20. Спечённый антифрикционный материал на основе железа / А.В. Колубаев, И.И. Кочепасов, В.М. Кузьмиченко, О.В. Сизова, С.Ю. Тарасов, **В.В. Фадин**; опубл. 10.01.1998. (Заявитель и патентообладатель ИФПМ СО РАН).
2. Патент РФ № 236897. Материал для сильноточного скользящего электроконтакта/ **Фадин В.В.**, Алеутдинова М.И. – Зарегистрировано 27.09.2009. (Заявитель и патентообладатель ИФПМ СО РАН).
3. Патент на изобретение № 2506334 Спеченный материал для сильноточного скользящего контакта. **В.В. Фадин**, М.И. Алеутдинова, С.С. Борисов, Н.И. Кузнецова Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10.02.2014 г. (Заявитель и патентообладатель ИФПМ СО РАН).
4. Патент на изобретение № 2536107 Способ определения коэффициента трения в скользящем электроконтакте без смазки и устройство для его осуществления. **В.В. Фадин**, М.И. Алеутдинова, Н.И. Кузнецова, С.С. Борисов, В.П. Кривопапов, А.Г. Иванчин. Зарегистрировано в Государственном реестре

- изобретений Российской Федерации 21.10.2014 г. (Заявитель и патентообладатель ИФПМ СО РАН).
5. А.с. 1429441 СССР,. Способ получения материалов на основе тугоплавких соединений / Овчаренко В.Е., **Фадин В.В.** (СССР) – опубл. 08.06.1988. (Заявитель и патентообладатель ИФПМ СО РАН).
 6. А.с. №1746739 СССР, С22С 32/00, 30/04. Антифрикционный композиционный материал / **В.В. Фадин**, В.И. Ковешников А.С. Климанов (СССР) – опубл. 08.03.1992 (ДСП). (Заявитель и патентообладатель ИФПМ СО РАН).
 7. А.с. №1764252 СССР В22F1/00, С22С 9/00, 14/00, 30/02. Шихта для получения антифрикционного композиционного материала / **В.В. Фадин** (СССР) – опубл. 22.05.1992 (ДСП). (Заявитель и патентообладатель ИФПМ СО РАН).
 8. Патент РФ №109611 С1. Устройство для определения электросопротивления зоны трения при высокой плотности тока в скользящем контакте / М.И. Алеутдинова, **В.В. Фадин**, А.Г. Иванчин; опубл. 20.10.2011. (Заявитель и патентообладатель ИФПМ СО РАН).

Апробация работы. Основные результаты представлены и обсуждены на следующих всероссийских и международных научных мероприятиях: 1 Всес. симп. по макрокинетике и химической газодинамике (Черноголовка, 1984); 6 Всес. конф. по горячему прессованию (Новочеркасск, 1985); Всес. конф. «Современные проблемы триботехнологии» (Николаев, 1988); Всес.конф. «Износостойкость машин» (Брянск,1991); межд. науч. практ. сем. «ТриБОЛОГ 10М, SLAVIANTRIBO-1» (Рыбинск, 1993); Int. conf. «Deformation and Fracture» (Kosice, 1996); Int. conf. “Tribotechnics in theory and practice” (Praha, 1997); 4 Sino-Russian Simp. «Advanced materials and processes» (Beijing, 1997); науч.-практич. конф. «Транссиб-99» (Новосибирск, 1999); научно-тех. конф. «Надёжность машин» (Минск, 2001); межд. конф. «Новые перспективные материалы и технологии их получения» (Волгоград, 2004); Int. conf. “Baltrib-2005” (Littuania, 2005); III Межд. науч-тех-. конф. «Современные проблемы машиностроения» (Томск, 2006); 16 Межд. конф. «Физика прочности и пластичности материалов» (Самара, 2006); V Межд. технол. конгресс «Военная техника, вооружение и современные технологии при создании продукции военного и гражданского назначения» (Омск, 2007); межд. конф. «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (Москва, 2007); International Scientific Conference «Baltrib-2007» (Kaunas, Lithuania, 2007); Межд. школа–семинар «Многоуровневые подходы в физической мезомеханике», (Томск, 2008); 8 Межд. конф. «Трибология и надёжность».(С-Петербург, 2008); 3 межд. конф. «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (Москва, 2009); Межд. конф. по физической мезомеханике, компьютерному конструированию и разработке новых материалов, (Томск, 2011); VIII Межд. науч. школа-конференция «Фундаментальное и прикладное материаловедение», (Барнаул, 2011); V международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов», (Москва, 2013); Межд. конф. «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций», (Томск, 2016); VII межд. конференция «Деформация и разрушение материалов и

наноматериалов», (Москва 2017); Межд. конф. «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций», (Екатеринбург, 2018), Межд. конф. «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций», (Томск, 2019); Межд. конф. «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций», (Томск, 2020).

Научная специальность диссертации


Диссертация по своей цели, задачам, содержанию, методам исследования, новизне соответствует п.1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления», а также п.7 «Технические и технологические приложения физики конденсированного состояния» паспорта научной специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния (технические науки).

Заключение принято на экспертном научном семинаре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук. Присутствовало на заседании 36 человек, из них 15 человек с ученой степенью доктора наук, 12 человек с ученой степенью кандидата наук. Результаты голосования: «за» – 36 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 67 от 07.06.2021 г.

Председатель семинара:


Зав. лабораторией физики прочности ИФПМ СО РАН,

д.ф.-м.н., профессор

 Лев Борисович Зуев

Секретарь семинара:

ведущий научный сотрудник лаборатории физики прочности ИФПМ СО РАН, д.ф.-м.н., доцент

 Светлана Александровна Баранникова