

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.383.02, СОЗДАННОГО  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-  
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 25.06.2025 г. № 80

О присуждении Хореву Василию Андреевичу, гражданину России, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Антифрикционные композиционные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях трения» по специальности 2.6.17. Материаловедение принята к защите 23 апреля 2025 г. (протокол заседания № 79) диссертационным советом 24.2.383.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 24-26/49 литера А), утвержденным приказом Минобрнауки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Хорев Василий Андреевич, 1995 года рождения.

В 2017 году соискатель окончил бакалавриат в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)». В 2019 году соискатель окончил магистратуру в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)». В 2024 году окончил очную аспирантуру в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», в настоящее время работает ассистентом кафедры химической

технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а также на предприятии ООО «Вириал».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Фищев Валентин Николаевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, доцент.

Официальные оппоненты:

Толочко Олег Викторович, доктор технических наук, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, высшая школа физики и технологии материалов, профессор;

Быкова Алина Дмитриевна, кандидат технических наук, ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» им. И. В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Санкт-Петербург, лаборатория технической керамики, старший научный сотрудник;  
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Кузнецовым Денисом Валерьевичем, кандидатом технических наук, доцентом, кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов, заведующим кафедрой, утвержденном Филоновым Михаилом Рудольфовичем, доктором технических наук, профессором, проректором по науке и инновациям НИТУ МИСИС указала, что рассматриваемая диссертация может быть оценена только положительно. По мнению ведущей организации диссертационное исследование по своему научному и техническому уровню соответствует

требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Хорев Василий Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение. Работа В. А. Хорева может представлять большой интерес для производства. Полученные в работе автором результаты имеют существенное значение для важнейших отраслей промышленности Российской Федерации: производства авиационных двигателей и турбин нового поколения, насосов нефтедобычи, длинномерного осевого твердосплавного режущего инструмента. Полученные в ходе исследования характеристики материалов, работающих в экстремальных условиях эксплуатации, могут быть полезны для ряда предприятий России (АО «ОДК», АО «НИИГрафит» и др.). Разработанное устройство для формования методом экструзии стержневых заготовок с внутренними винтовыми каналами, а также выявление корреляционной зависимости между структурой, механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками антифрикционных композиционных материалов имеет огромное прикладное значение, а полученные результаты могут являться справочными, как для производственных, так и для ряда научных предприятий.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, в том числе, по теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе, 3 статьи в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий или индексируемых международными базами данных, перечень которых определен в соответствии с рекомендациями ВАК, 16 тезисов докладов на международных и всероссийских конференциях, 1 патент РФ. Авторский вклад соискателя заключается в разработке планов экспериментов, разработке методик проведения трибологических испытаний композиционных материалов при высоких скоростях и нагрузках, проведении исследований в области материаловедения антифрикционных композиционных материалов на основе углерода и твердосплавных систем, полученных разными методами, исследовании физико-механических свойств, анализе результатов исследования и современного состояния проблемы, подготовки текстов публикаций.

Опубликованные работы полностью отражают основные положения диссертационного исследования, в диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые работы автора по теме диссертации:

1. Khorev, V. A. Tribological properties of pyrolytic carbon in high-speed tests / V. A. Khorev, V. I. Rumyantsev, G. A. Ponomarenko, A. S. Osmakov, V. N. Fishchev // Refractories and Industrial Ceramics. – 2020. – № 1. – P. 68-72.

2. Khorev, V. A. Influence of Graphite Additives on Tribological Properties of Nickel-Containing Hard Alloys / V. A. Khorev, S. Y. Kurochkin, V. I. Rumyantsev, V. N. Fishev // Refractories and Industrial Ceramics. – 2023. – Т. 64. – № 2. – P. 180-183.

3. Хорев В. А. Влияние степени дефектности структуры изотропного пиролитического углерода на его твердость и скорость изнашивания / В. А. Хорев, В. И. Румянцев, А. С. Осмаков [и др.] // Новые огнеупоры. – 2024. – № 3 С. 31-36.

4. Патент № 221444 Российская Федерация, В21С 23/21 (2006.01), В21С 25/02 (2006.01), В22F 3/20 (2006.01), В22F 5/10 (2006.01). Устройство для формования методом экструзии стержневых заготовок с внутренними винтовыми каналами : №2023120186 : заявл. 01.08.2023 : опубл. 07.11.2023 / Кочерга Л. Н., Вашарин С. А., Четлахиди К. С., Хорев В. А. – 9 с.

На диссертацию и автореферат отзывы прислали:

1 – Глебова Елена Михайловна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник АО «Высокотехнологичный научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара», г. Москва;

2 – Гудовских Петр Сергеевич, кандидат технических наук, директор ООО «АРИС», г. Смоленск;

3 – Володченко Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная химия» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова»;

4 – Цибиногина Марина Константиновна, кандидат химических наук, ведущий инженер АО «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор», г. Санкт-Петербург.

Все отзывы положительные.

В отзывах указывается, что диссертационная работа выполнена по актуальной тематике, обладает научной новизной и практической значимостью, в автореферате полностью отражена суть исследования, проведен глубокий научный анализ полученных результатов, диссертационное исследование выполнено по актуальной тематике, обладает научной новизной и практической значимостью, автор работы заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук.

В отзывах содержатся следующие замечания критического характера:

- 1) Указанные реперы на рисунках 5 и 6 нечитаемые.
- 2) В автореферате имеются неточности редакционного характера, присутствует незначительное количество опечаток.
- 3) Почему при изучении влияния пироуглерода на характеристики трения твердых сплавов не получены значения твердости, а также как резкое снижение прочности при изгибе (более чем в 2 раза) позволяет сохранить работоспособность твердосплавных изделий.
- 4) Каким образом в разработанной конструкции узла трения с медными разрезными вставками определены равномерность подачи на образец усилия обжатия и более точная центровка образца относительно корпуса? Какой критерий выбора оптимальной площади поперечного сечения канавок для подвода смазки?
- 5) Каким образом определяли минимальный уровень вибраций при высоких скоростях вращения на модернизированном стенде для проведения испытания на предприятии ООО «Вириал»?
- 6) На рисунках 3, 4 отсутствуют единицы измерений вертикальной оси представленных графиков.
- 7) Линейные регрессионные уравнения (1), (2) действуют в узком ограниченном диапазоне плотностей изотропного пиролитического углерода от 1,84 до 2,11 г/см<sup>3</sup>, выбранном для экспериментального рассмотрения. Данное уточнение отсутствует в работе.
- 8) Какой критерий равномерного распределения графитовой добавки микроструктур образцов, представленных на рис. 5?

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:**

**разработана** методика проведения трибологических испытаний при высоких скоростях и нагрузках, а также технологически обоснована конструкция устройства для формования длинномерных заготовок твердосплавного осевого режущего инструмента с внутренними винтовыми каналами методом экструзии,

**предложен** оригинальный метод оценки степени совершенства кристаллической структуры изотропного пиролитического углерода (ИПУ) и его влияния на свойства ИПУ на основе данных рамановской спектроскопии,

**установлено** влияние добавки графита в твердом сплаве WC-Ni на продолжительность сохранения работоспособности в режиме сухого трения,

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

**доказаны** перспективность применения изотропного пиролитического углерода и твердосплавной композиции на основе WC-Ni с графитовой добавкой в трибологических узлах, работающих в экстремальных условиях;

**применительно к проблематике диссертации результативно, с получением обладающих новизной результатов использован** метод спектроскопии комбинационного рассеяния монохроматического излучения (рамановской спектроскопии), позволивший выявить природу дефектов кристаллической структуры изотропного пиролитического углерода и определить влияние степени ее совершенства на физико-механические и трибологические свойства ИПУ;

**изложены** теоретические и экспериментальные результаты изучения трибологических свойств антифрикционных композиционных материалов, установлено, что при одинаковых скоростях трения изотропный пиролитический углерод имеет в 1,5 раза более низкий коэффициент трения и до 6,5 раз более высокую сопротивляемость износу, чем антифрикционный графит АТГ-С, определено, что введение при добавлении до 4 мас. % малозольного графита до восьми раз увеличивается продолжительность периода сохранения работоспособности пары трения в условиях сухого трения и в 2 раза возрастает несущая способность пары трения в присутствии водной смазки, обнаружена тенденция к увеличению времени до потери работоспособности по мере снижения зольности графита, полученные результаты являются физико-механической базой создания антифрикционных композиционных материалов с заданным комплексом свойств.

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

**разработана и внедрена** на предприятии ООО «Вириал» в технологический процесс производства изделий из изотропного пиролитического углерода методика проведения трибологических испытаний при скоростях до 125 м/с и нагрузках до 60Н,

**определены** перспективы использования изотропного пиролитического углерода и твердосплавной композиции на основе WC-Ni с графитовой добавкой в качестве износостойких изделий трибологического применения,

**представлена** конструкция устройства для формования длинномерных заготовок твердосплавного осевого режущего инструмента с внутренними винтовыми каналами методом экструзии,

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** достоверность результатов исследования обеспечена применением надежных аналитических методов, стандартной измерительной аппаратуры, согласованностью полученных результатов и их сопоставлением со справочными и литературными источниками;

**выводы, сделанные в работе,** основаны на достоверных и проверяемых данных и соответствуют современным представлениям в научной литературе по теме диссертации,

**идея базируется** на критическом анализе отечественных и зарубежных литературных данных по тематике исследования, учете и обобщении опыта исследования, физико-механических и трибологических параметрах антифрикционных материалов с использованием современного подхода к проведению испытаний,

**использованы** известные подходы и соответствующие решаемым задачам методы обработки и теоретического анализа экспериментальных результатов,

**установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами по близким аналогам материалов, представленными в независимых источниках по данной тематике,

**использованы** современные методики сбора и анализа исходной информации и стандартизованные методики;

**Личный вклад соискателя** состоит в поиске и анализе литературы по тематике работы, разработке методики трибологических испытаний композиционных материалов при высоких скоростях и нагрузках, проведении исследований в области материаловедения антифрикционных композиционных материалов на основе углерода и твердосплавных систем, полученных разными методами, активном участии в модернизации испытательного оборудования и в оптимизации процесса формования длинномерных заготовок твердосплавного режущего осевого инструмента методом экструзии, исследовании, анализе и обобщении

экспериментальных данных, подготовке публикаций. Работа выполнена автором самостоятельно.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- 1) Каким образом вводилась графитовая добавка в твердый сплав?
- 2) Что вы вкладываете в понятие «наноиндентирование»?
- 3) При проведении анализа микротвердости гетерогенных материалов имело смысл приводить разброс значений твердости, поскольку значения твердости будут зависеть от той фазы, в которую будет нанесен укол индентором.
- 4) При какой температуре работоспособен изотропный пиролитический углерод?
- 5) Какую функцию выполняет пропитка калий-марганцевого ультрафосфата в антифрикционном графите АТГ-С?
- 6) Пропитка калий-марганцевого ультрафосфата нужна чтобы убрать пористость?
- 7) Почему выбран именно антифрикционный графит, пропитанный калий-марганцевым ультрафосфатом, а не другой?
- 8) Материалы, исследованные в работе, были получены стандартными методами или использовались какие-то новые технологические решения?
- 9) На основе каких данных был сделан вывод о наличии  $sp^3$ -гибридизованных атомов углерода в структуре изотропного пиролитического углерода?
- 10) Некоторые данные в работе приведены с избыточной точностью.
- 11) На плакате, где приведены результаты трибологических испытаний твердосплавных композиций, вы используете два понятия: «разрушение» и «потеря работоспособности». Чем они отличаются друг от друга?
- 12) Каковы основные требования к характеристикам исследуемых материалов, применительно к условиям эксплуатации.
- 13) В автореферате присутствует фраза, что при испытании в режиме сухого трения «коэффициент трения всех пар не зависит ни от присутствия добавки графита в твердом сплаве, ни от вида графита». Какой смысл вы вкладываете в эту фразу?

Соискатель Хорев В. А. согласился с замечаниями и ответил на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию.

- 1) Графит вводился в шихту в порошковом виде, методом сухого помола.
- 2) Под понятием «наноиндентирование» подразумевались малые глубины проникновения индентора.

- 3) Для снижения данного эффекта использовал нагрузку на индентор 30 кгс, а диагонали отпечатка были порядка 300 мкм, что охватывает все фазы образца.
- 4) Испытания проводились при комнатной температуре. При проведении испытаний инфракрасным термометром была зафиксирована максимальная температура 350 °С, но материал устойчив на воздухе до 600–650 °С.
- 5) Данная пропитка служит для снижения скорости окисления графита и для достижения минимальной газонепроницаемости материала.
- 6) Да, пропитка калий-марганцевого ультрафосфата нужна для снижения сквозной пористости и снижения скорости окисления материала при повышенной температуре в воздушной среде.
- 7) Антифрикционный графит АТГ-С был выбран как материал, разработанный предприятием «Салют» специально для высокоскоростных условий эксплуатации. Другие марки графитов неработоспособны в данных условиях.
- 8) В работе использовались материалы, полученные по стандартным технологиям предприятия ООО «Вириал».
- 9) Вывод был сделан на основе исследования рамановских спектров изотропного пиролитического углерода, а именно соотношения интенсивностей пиков D и D'.
- 10) С замечанием согласен.
- 11) Под понятием «разрушение» понимали потерю целостности образцов в ходе испытания, под понятием «потеря работоспособности» понимали прихват образцов.
- 12) К исследуемым материалам были выдвинуты следующие требования: заготовка изотропного пиролитического углерода должна иметь плотность не менее 2,1 г/см<sup>3</sup>; зольность графитовой добавки в твердом сплаве не более 0,2 мас. % и общее содержание графитовой добавки в твердом сплаве ВН20 не более 4 мас. %.
- 13) Испытания показали, что для всех исследуемых образцов коэффициент трения одинаков, вне зависимости от наличия графитовой добавки и её зольности.

Диссертация Хорева Василия Андреевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением

