

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 31.1.002.01, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ» НАЦИОНАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» (НИЦ
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» - ВИАМ), РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «02» сентября 2025 г. № 12

О присуждении Загорских Ольге Анатольевна, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Формирование упрочненного слоя на поверхности труб из аустенитной нержавеющей стали для защиты от фреттинг-коррозии» по научной специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите «10» июня 2025 г. (протокол заседания №8) диссертационным советом 31.1.002.01, созданным на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 17, приказ Минобрнауки России от 24.10.2022 г. № 1363/нк «О выдаче разрешения на создание совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе федерального государственного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Соискатель Загорских Ольга Анатольевна, 10 мая 1980 года рождения. В 2004 году с отличием окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет», инженер по специальности «Металловедение и термическая обработка металлов», в 2024 году окончила аспирантуру федерального государственного

унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» по научной специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки).

Загорских Ольга Анатольевна с 2011 года работает в акционерном обществе «ОДК-Пермские моторы», с декабря 2023 года и по настоящее время в должности заместителя главного металлурга.

Диссертация выполнена в управлении главного металлурга АО «ОДК-Пермские моторы», Ростех и в лаборатории «Климатические, микробиологические исследования и пожаробезопасность материалов» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, Российская Федерация.

Научный руководитель – Лаптев Анатолий Борисович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории «Климатические, микробиологические исследования и пожаробезопасность материалов» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, Российская Федерация.

Официальные оппоненты:

- Саврай Роман Анатольевич, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова» Уральского отделения Российской академии наук;

- Цветкова Галина Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент международного научно-образовательного центра «BaltTriboPolytechnik» ИММиТ федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ) в своем положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, деканом механико-технологического факультета Песиным Михаилом Владимировичем, кандидатом

технических наук, доцентом кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» Беловой Светланой Анатольевной и утвержден проректором по науке и инновациям, доцентом, доктором физико-математических наук Швейкиным Алексеем Игоревичем указала, что работа Загорских Ольги Анатольевны написана грамотным техническим языком, достигнута цель работ – предложен эффективный метод повышения предела выносливости материала в условиях ФК. Представленная диссертационная работа отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Загорских Ольга Анатольевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.1. –Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov i spлавов.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 4 научные статьи, 3 - в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России, и 1 – в издании, индексируемом в Scopus, общим объемом 3,5 п.л./2 п.л. Работы выполнены в соавторстве.

Публикации, входящие в перечень ВАК при Минобрнауки России:

1. Загорских О.А., Лаптев А.Б. Предотвращение фреттинг - коррозии легированной стали аустенитного класса формированием упрочненного слоя на поверхности // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2024. Т. 26, № 4. С. 5-18. – DOI 10.15593/2224-9877/2024.4.01.

2. Лаптев А.Б., Закирова Л.И., Загорских О.А., Павлов М.Р. Методы исследования процессов коррозионно-механического разрушения и наводороживания металлов (обзор) часть 1. Исследование коррозионномеханического разрушения сталей // Труды ВИАМ. 2022. № 4(110). С. 118-130. – DOI 10.18577/2307-6046-2022-0-4-118-130.

3. Лаптев А.Б., Закирова Л.И., Загорских О.А. и др. Методы исследования процессов коррозионно-механического разрушения и наводороживания металлов (обзор). Часть 3. Коррозионное растрескивание алюминиевых сплавов // Труды ВИАМ. 2022. № 6 (112). Ст. 12. – DOI 10.18577/2307-6046-2022-0-6-138-149.

Публикация, индексируемая базами Web of science и Scopus:

1. Movenko D.A., Laptev A.B., Zagorskykh O.A. Composition and morphology of hot-salt corrosion in heat-resistant nickel alloys // Inorganic Materials: Applied Research. 2022. Т. 13. № 6. С. 1652-1657. – DOI: 10.1134/s207511332206017x.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв на диссертацию ведущей организации - федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ). Отзыв подписан доктором технических наук, деканом механико-технологического факультета Песиним Михаилом Владимировичем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» Беловой Светланой Анатольевной и утвержден проректором по науке и инновациям, доцентом, доктором физико-математических наук Швейкиным Алексеем Игоревичем.

Отзыв рассмотрен и утвержден на расширенном заседании кафедры металловедения, термической и лазерной обработки металлов механико-технологического факультета ФГАОУ ВО ПНИПУ, протокол №36 от 03 июля 2025 года. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- необходимо пояснить, исходя из какого принципа выбирали метод упрочняющей обработки;
- в работе отсутствуют пояснения, почему остаточные напряжения замеряли только в осевом направлении;
- из текста работы неясно, каким образом автор рассчитывал степень наклёпа;
- в работе не ясно, при каких практически рекомендуемых значениях качественных параметров поверхностного слоя обеспечивается наибольшее сопротивление к ФК и наибольшая долговечность;
- предложенная в работе математическая модель учитывает микротвердость поверхности, глубину измененного слоя, величину сжимающих напряжений и шероховатость, являются ли эти параметры взаимозависимыми?

2. Отзыв на диссертацию официального оппонента – Саврая Романа Анатольевича, доктора технических наук, ведущего научного сотрудника федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова» Уральского отделения Российской академии наук. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- структура диссертационной работы несколько затрудняет ее прочтение. В частности, имеется достаточно много абзацев, которые состоят из одного предложения. В литературном обзоре в некоторых местах целесообразно было бы привести поясняющие текст иллюстрации. Нумерация литературных источников не соответствует порядку их первого упоминания в тексте. Следовало бы все методики исследований привести во второй главе диссертации, а результаты механических и коррозионных испытаний перенести из второй главы в третью. Несколько неудачным представляется название третьей главы, которое не соответствует ее содержанию. Отсутствуют выводы по главам;

- представленные в работе данные, в частности, о распределении микротвердости по глубине (глава 3), свидетельствуют о том, что в результате гидродробеструйной обработки стеклянной дробью был сформирован градиентный упрочненный слой. Однако этот факт не был отмечен. Известно, что использование поверхностного упрочнения наиболее эффективно для повышения контактной выносливости металлических материалов при формировании градиентного упрочненного слоя. Поэтому, целесообразно было бы обсудить, как градиентный упрочненный слой может влиять на фреттинг-стойкость сталей в целом и аустенитной нержавеющей стали в частности;

- проведенные исследования показали, что упрочненный слой, хотя и в меньшей степени, подвергается фреттинг-коррозии, следовательно, он также будет деградировать в процессе эксплуатации и разрушение начнет развиваться по глубинным слоям материала. Поэтому следовало было бы провести оценку ресурса усовершенствованного подобным образом трубопровода;

- целесообразно было бы привести схему, описывающую четкую последовательность действий по назначению технологических параметров гидроабразивной обработки при выборе другой марки стали (другого материала);

- следовало бы более полно раскрыть научную новизну;

- существует некоторая двусмысленность при использовании термина «измененный слой», который можно трактовать как упрочненный (модифицированный) слой, так и слой, образовавшийся в результате фреттинг-коррозии;

- в главе 2 следовало бы привести методику определения остаточных напряжений по глубине и формулу для расчета степени наклепа;

- в ряде случаев следовало бы провести более детальный анализ полученных результатов, в частности, указать возможные причины, почему:

наблюдается достаточно низкий уровень остаточных напряжений после гидроабразивной обработки (с. 82), наблюдаются расхождения в величине напряжений, определенных различными методами, и указать, какой метод дает наиболее достоверные результаты (с. 72-82);

- утверждается, что (с. 16) «в работах [34, 70] авторы отмечают, что, когда контактные пары деталей подвержены колебательному перемещению друг относительно друга с амплитудой менее 10 мкм фреттинг-износ проявляться не будет»; (с. 19) «для инициирования процесса фреттинга достаточно микроскопических взаимных перемещений (при скольжении или колебании), измеряемых нанометрами». Данное противоречие необходимо пояснить;

- следует пояснить, почему в таблице 3.1 значения параметра шероховатости R_a указаны в виде диапазона, а параметра R_z как среднее значение;

- на рисунках 3.14 и 3.15, по-видимому, неправильно указана единица измерения по оси абсцисс (должна быть мм).

3. Отзыв на диссертацию официального оппонента – Цветковой Галины Викторовны, кандидата технических наук, доцента, доцента международного научно-образовательного центра «BaltTribo-Polytechnic» ИММиТ федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- почему в главе 5, п.1, посвященной металлографическому исследованию структурно-фазового превращения, не использовались микроструктурные исследования приповерхностных слоев стали на поперечных шлифах после химического травления методом оптической микроскопии? Это исследование позволило бы более подробно изучить распределение структурно-фазовых составляющих, размера зерна и т.д. и добавить информации в работе;

- отсутствует статическая обработка результатов испытаний, на графиках и в таблицах нет интервалов варьирования;

- исследования выполнены для одной марки стали, поэтому непонятно, возможно ли использование данного метода предотвращения фреттинг-коррозии на других марках легированных сталей и цветных металлах;

- главы диссертации 4 и 6 не разбиты на подпункты, что усложняет восприятие текста;

- в главах 2-6 отсутствуют промежуточные выводы;

- список сокращений содержит новые интерпретации известных аббревиатур, например, НИР – научно-исследовательский центр.

Тем не менее, необходимо отметить, что данная диссертация имеет малый процент ошибок, в целом же написана грамотным языком, изложена последовательно, и решен главный вопрос – для реализации в производстве разработан и предложен наиболее оптимальный режим поверхностной упрочняющей обработки труб для повышения предела выносливости материала в условиях ФК. Указанные замечания не снижают ее научной, практической и теоретической значимости. Диссертация Загорских Ольги Анатольевны является законченным научно-исследовательским трудом и соответствует паспорту специальности 2.6.1. -Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Высказанные замечания не меняют в целом, безусловно, положительную оценку представленной работы, включая ее научное и практическое содержание. В целом по актуальности решаемых задач, научной новизне, практической значимости,

достоверности полученных результатов и обоснованности выводов, диссертационная работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Загорских Ольга Анатольевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзывы на автореферат:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина» Российской Академии наук, подписан главным научным сотрудником лаборатории коррозии металлов в природных условиях, доктором химических наук, профессором Маршаковым Андреем Игоревичем.

Имеется замечание: в работе не приведены зависимости влияния параметров поверхностного упрочнения на долговечность и устойчивость к ФК и не ясно, как определены их оптимальные величины. К примеру, из математической модели видно, что чем больше микротвердость, а, следовательно, степень наклепа, то тем больше долговечность. Следовательно, данная величина должна стремиться к бесконечности, это же относится и к остаточным напряжениям сжимающего характера и к глубине измененного слоя, а шероховатость должна стремиться к нулю.

2. Акционерное общество «Ступинская металлургическая компания», подписан кандидатом технических наук, заместителем главного металлурга Рынденковым Дмитрием Игоревичем.

Имеются замечания:

- обычно результаты усталостных испытаний измеряются в тысячах циклов, свободный член модели равен -39,4226. Насколько критично учитывать или не учитывать – 40 циклов и есть ли необходимость считать его до 4 знака после запятой?

- модель содержит 4 суммирующихся переменных, два из которых повышают и два – понижают результат, все коэффициенты при переменных имеют малые значения (от 0,0047 до 19,3456), учитывая, что и переменные величины не представляют собой

большие числа, вызывает вопрос, как можно получить на таких условиях адекватное значение числа циклов?

- было бы полезным в качестве примера сделать расчет количества циклов с учетом реальных значений переменных модели.

3. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университета имени Н.Э. Баумана», подписан кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Материаловедения» (МТ-8) Пучковым Юрием Александровичем.

Имеется замечание:

- в работе не ясно, каким образом математическая модель связана с процессом упрочнения. В данной формуле указано влияние качественных показателей поверхностного слоя на усталостную прочность при этом не важно, каким методом выполнено упрочнение. Полученная зависимость универсальна или может быть применена только при обработке шариками?

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», подписан доцентом кафедры «Материаловедение и защита от коррозии», кандидатом технических наук Ямщиковой Светланой Алексеевной.

Имеется замечание:

- весь объем исследований и выводы сделаны на одной марке стали, различных поставщиков, что не позволяет распространить предложенную технологию на другие материалы, подверженные ФК.

5. Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара», подписан заместителем директора отделения – начальник научного-исследовательского отдела, кандидатом технических наук Аникиным Александром Сергеевичем.

Имеется замечание:

- в работе не ясно, какого рода напряжения фиксировались на поверхности упрочненных и неупрочненных образцов при их усталостном нагружении.

6. Акционерное общество «Каменск-Уральский металлургический завод», подписан директором по производству, кандидатом технических наук Разинкиным Александром Викторовичем.

Имеется замечание:

- из автореферата не ясно, какова степень поверхностной деформации при ГДО образцов стеклянной дробью при заданном в работе режиме, при которой в поверхностном слое произошел фазовый переход ГЦК-ОЦК с образованием α' - мартенсита деформации; рассмотрена ли в работе возможность образования ϵ - мартенсита при заданном режиме обработки.

7. Государственный научный центр «Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И. П. Бардина», подписан заместителем директора научного центра сталей для автомобильной промышленности, доктором технических наук Родионовой Ириной Гавриловной.

Имеется замечание:

- из текста автореферата не ясно, какой из исследуемых параметров (остаточные сжимающие напряжения, микротвердость, глубина измененного слоя или фазовый переход ГЦГ-ОЦК (с образованием мартенсита деформации) явился преобладающим в увеличении долговечности испытанных образцов труб.

8. Акционерное общество «Пермский научно-исследовательский технологический институт», подписан главным металлургом, кандидатом технических наук Перцевым Алексеем Сергеевичем.

Имеется замечание:

- задача №3 (страница 6) сформулирована как установление зависимости ФК и фреттинг-усталостной прочности труб из аустенитной нержавеющей стали, в том числе от фазового состава измененного слоя. На странице 21 зафиксировано процентное содержание мартенсита деформации (~21 %) в измененном поверхностном слое образцов исследуемых труб после ГДО. В модели упрочнения стали, представленной на странице 21, одна из переменных обозначена как «глубина измененного слоя». Проводилась ли оценка влияния именно фазового состава измененного слоя на стойкость стали 12Х18Н10Т к фреттинг-изнашиванию?

9. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платонова, подписан старшим преподавателем кафедры «Экология и промышленная безопасность», кандидатом технических наук Меденниковым Олегом Александровичем.

Имеются замечания:

- рисунок 1 на стр.4 плохо читается;
- на рисунке 5 (стр.19) не указан масштаб, что затрудняет восприятие.

10. Акционерное общество «Объединенная двигателестроительная корпорация-СТАР», подписан главным инженером Кульневским Ильей Валерьевичем, главным металлургом Седовой Еленой Владимировной.

Имеется замечание:

- отсутствие сравнительного анализа с образцами поверхности, обработанными методом ручной финишной доводки. Такое сравнение могло бы дополнительно подтвердить эффективность предложенного способа формирования упрочненного слоя и расширить практическое применение результатов.

11. Акционерное общество «Машиностроительное конструкторское бюро «Факел» имени академика П.Д. Грушина», подписан начальником бюро ведущих специалистов по металлургии, физико-технических методов обработки металлов и антикоррозионной защиты, кандидатом технических наук Скоробогатовым Андреем Евгеньевичем.

Имеются замечания:

- не описан процесс подбора режимов гидродробеструйной обработки стеклянной дробью (ГДО). Выбраны два режима отличающиеся только давлением. Почему не рассмотрены другие режимы? При этом автором проведено моделирование процесса упрочнения, в основу заложены показатели: микротвердости, глубины измененного слоя, остаточных напряжений и шероховатости, которые напрямую зависят от выбранного режима ГДО;
- в автореферате отсутствует изображения микроструктурных изменений на поверхности труб и их сравнение при различных методах обработки;

- в качестве рекомендаций, стоило бы провести экономические обоснования (расчеты) применения ГДО на поверхности труб. Учитывая, что данную обработку предлагается проводить только на прямолинейных участках труб по местам их крепления.

Все отзывы носят положительный характер. В отзывах отмечено, что диссертационная работа отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), предъявленным к кандидатским диссертациям, а ее автор - Загорских Ольга Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

- доктор технических наук, ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова» Уральского отделения Российской академии наук Саврай Роман Анатольевич является признанным специалистом в области металловедения и термической обработки, входит в состав Ученого совета Института машиноведения УрО РАН и редколлегии журнала «Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures». Является членом государственной экзаменационной комиссии кафедры металловедения Уральского федерального университета. Автор и соавтор порядка 110 научных трудов. Под руководством и при непосредственном участии Саврая Р.А. выполнены научно-исследовательские работы, направленные на исследование структуры и свойств модифицированной поверхности аустенитных нержавеющей сталей.

- кандидат технических наук, доцент, доцент международного научно-образовательного центра «BaltTribo-Polytechnic» ИММиТ федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Цветкова Галина Викторовна. Научно-исследовательская работа Цветковой Г.В. ведется в

области физики металлов технологических процессов в машиностроении, трибологии, материалов покрытий. В этой области автором опубликовано более 50 научных публикаций. При непосредственном участии Цветковой Г.В. проведен большой объем научно-исследовательских работ, посвященных разработке и исследованию физико-химических процессов при трении сопряженных деталей.

– Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» является многопрофильным высшим учебным заведением с высоким кадровым потенциалом и современной материально-технической базой, которая позволяет проводить исследования на мировом уровне и разрабатывать современные технологии для внедрения в серийное производство. ФГАОУ ВО «ПНИПУ» является самым крупным образовательным и научным центром Западного Урала. Научная и инновационная деятельность в вузе проводится по 32 приоритетным научным направлениям в рамках реализации проектов по государственному заданию, федеральным целевым программам Постановлениям Правительства, грантам Президента Российской Федерации и т.д. Университет является учредителем 15-ти издаваемых научных журналов, из них 12 входят в перечень ВАК, 2 – в базу Scopus.

Заключение подписано доктором технических наук, деканом механико-технологического факультета Песиним Михаилом Владимировичем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» Беловой Светланой Анатольевной и утвержден проректором по науке и инновациям, доцентом, доктором физико-математических наук Швейкиным Алексеем Игоревичем. Заключение рассмотрено и утверждено на расширенном заседании кафедры металловедения, термической и лазерной обработки металлов механико-технологического факультета ФГАОУ ВО «ПНИПУ», протокол № 36 от 03 июля 2025 года.

Список основных публикаций ведущей организации ФГАОУ ВО «ПНИПУ» в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Адамов А.А., Келлер И.Э., Петухов Д.С., Кузьминих В.С., Патраков И.М., Гракович П.Н., Шилько И.С. Оценка работоспособности ПТФЭ-композитов в

качестве антифрикционных слоев опорных частей с шаровым сегментом// Трение и износ. - 2023. - Т. 44, № 3. - С. 201-211.

2. Ширяев А.А., Габов И.Г., Миленин А.С. Влияние лазерного ударного упрочнения на параметры поверхностного слоя лопаток компрессора газотурбинного двигателя из титанового сплава// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2024. - Т. 26, № 1. - С. 66-73.

3. Сошина Т.О., Плюснина В.А., Сошина О.И. Проектирование многослойного покрытия TiAlN- TiN- TiAlN с высокими трибологическими свойствами// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2022. - Т. 24, № 1. - С. 21-27.

4. Колмогоров Г.Л., Мельникова Т.Е. Гидродинамический эффект технологической смазки и формирование режимов трения при листовой прокатке// Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2021. Т. 64. №12.

5. Каменева А.Л., Клочков А.Ю. Роль фазовых превращений в покрытиях ZR1-XALXN в формировании их трибологических свойств// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2023. - Т. 25, № 4. - С. 62-70.

6. Поздеева Т.Ю., Каченюк М.Н., Караваев Д.М. Зависимость трибологических свойств свойств углерод-керамических материалов от состава// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2023. - Т. 25, № 2. - С. 51-58.

7. Макаров В.Ф., Песин М.В., Сычев Р.В. Исследование обрабатываемости шлифованием износостойких покрытий деталей газотурбинных двигателей// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2023. - Т. 25, № 3. - С. 95-102.

8. Каменева А.Л., Бублик Н.В., Каменева Д.В. Влияние элементного состава и способа изготовления катодов на физико-механические, трибологические и адгезионные свойства покрытий Ti1- XALXN, формируемых электродуговым

испарением// Конструкции из композиционных материалов. – 2021. №3 (163). –С. 33-38.

9. Палкин Д.Д., Чекалкин А.А. Численное моделирование коэффициентов трения однонаправленных волокнистых композитов тетрагональной структуры// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. - 2022. - Т. 24, № 2. - С. 54-63.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработан и научно обоснован** метод упрочнения поверхности (ГДО стеклянной дробью) - для повышения предела выносливости труб из аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т, работающих на двигателях в условиях возникновения ФК, обогащающая научную концепцию теории упрочнения и реологических аспектов процесса фреттинга;

- **доказана** эффективность и перспективность использования разработанного режима упрочнения для трубопроводов из стали 12Х18Н10Т, работающих в условиях вибрации и ФК;

- **показано**, что наиболее эффективна среди прочих опробованных вариантов финишная обработка ГДО стеклянной дробью вращающихся труб, с расстоянием до обрабатываемой поверхности 35 мм и углом обработки 90 град в течении 30 сек, при давлении воздуха 0,1 МПа, рабочая жидкость (водная суспензия) - стеклянная дробь фракцией (0,3-0,4) мм (30 %) + техническая вода. ГДО позволила улучшить микрогеометрию наружной поверхности труб из стали 12Х18Н10Т и сформировать на поверхности измененный (модифицированный) слой с микротвердостью $HV_{0,025}$ до 346 кгс/мм² и средним уровнем остаточных сжимающих напряжений до (-482) МПа. Сформированный при ГДО упрочненный слой повышает предел выносливости труб в условиях ФК (относительно исходного/шлифованного состояния материала). В условиях возникновения поверхностной деформации при ГДО в поверхностном слое произошел фазовый переход ГЦК-ОЦК с образованием мартенсита деформации (α'), процентное содержание которого в измененном слое составило ~27%.

- **предложена** регрессионная модель, устанавливающая зависимость числа циклов до разрушения трубопроводов (в условиях работы при ФК и заданном

напряжении) от микротвердости материала, от глубины измененного слоя, шероховатости поверхности и средних значений сжимающих остаточных напряжений; согласно предложенной модели - увеличение количества наработанных циклов зависит от увеличения твердости поверхности и глубины измененного слоя, а также от уменьшения показателей средних остаточных сжимающих напряжений на поверхности стали и ее шероховатости.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **изучены** и теоретически обобщены сведения о процессах разрушения металлических материалов при фреттинг-коррозии,

- **показана** актуальность повышения стойкости к ФК и ФУ трубопроводов из нержавеющей аустенитной стали 12Х18Н10Т путем модифицирования поверхностного слоя методом ГДО,

- **изложены** новые сведения, вносящие вклад в расширение представлений об изучаемом процессе упрочнения поверхности нержавеющей легированной стали,

- **изучена** связь параметров упрочненного слоя и долговечности трубопроводов в условиях ФК, построена математическая модель зависимости числа циклов до разрушения от микротвердости материала, глубины измененного слоя, шероховатости поверхности и средних значений сжимающих остаточных напряжений.

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

- **разработан** и рекомендован режим финишной обработки поверхности труб из стали 12Х18Н10Т - ГДО стеклянной дробью с вращением образцов, с расстоянием до обрабатываемой поверхности 35 мм и углом обработки 90 град в течении 30 сек, при давлении воздуха 0,1 МПа, рабочая жидкость - стеклянная дробь фракцией (0,3-0,4) мм (30 %) + техническая вода; натурными лабораторными испытаниями образцов по предложенному режиму подтверждена целесообразность применения упрочняющей поверхностной обработки изделий (труб) из аустенитной нержавеющей стали для продления ресурса при работе в условиях ФК,

- результаты диссертационной работы **внедрены** в экспериментальную базу АО «ОДК-ПМ» и АО «ОДК-Авиадвигатель», принято решение о подконтрольной эксплуатации упрочненных стеклянной дробью трубопроводов (по местам крепления

втулками), имеющих годные результаты замеров на КИМ (до и после проведения упрочняющей обработки ГДО), на ГГ; по результатам промежуточных осмотров упрочненных трубопроводов (после подконтрольной эксплуатации на ГГ) по местам постановки креплений участков ФК и трещин не выявлено.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что научные результаты диссертации подтверждаются использованием современных методов исследований, аттестованных методик и поверенного оборудования. Достоверность полученных лабораторных результатов подтверждена апробацией метода упрочнения для снижения ФК, проведена на реальных трубопроводах из аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Личный вклад соискателя. Диссертационная работа является результатом исследовательской работы соискателя в АО «ОДК-ПМ». Загорских О.А. принадлежит основная роль в постановке цели и задач исследования, в выборе путей и методов их решения. Все этапы экспериментальной работы проведены при непосредственном ее участии. Соискателем лично изучены все обрабатываемые и испытываемые образцы, построены графики и установлены зависимости, интерпретированы результаты всех исследований и написаны научные статьи, подготовлена база данных, объединяющая режим упрочнения, уровень остаточных напряжений и поверхностной микротвердости образцов с их фазовым составом и повышением усталостной прочности в условиях ФК и ФУ.

В ходе защиты диссертации были заданы вопросы и высказаны критические замечания:

1. В работе не ясно, при каких практически рекомендуемых значениях качественных параметров поверхностного слоя обеспечивается наибольшее сопротивление к ФК и наибольшая долговечность.

2. Почему в главе 5, п.1, посвященной металлографическому исследованию структурно-фазового превращения, не использовались микроструктурные исследования приповерхностных слоев стали на поперечных шлифах после химического травления методом оптической микроскопии? Это исследование позволило бы более подробно изучить распределение структурно-фазовых составляющих, размера зерна и т.д. и добавить информации в работе.

3. Из текста автореферата не ясно, какой из исследуемых параметров (остаточные сжимающие напряжения, микротвердость, глубина измененного слоя или фазовый переход ГЦГ-ОЦК (с образованием мартенсита деформации)) явился преобладающим в увеличении долговечности испытанных образцов труб.

4. Отсутствует сравнительный анализ с образцами поверхности, обработанными методом ручной финишной доводки. Такое сравнение могло бы дополнительно подтвердить эффективность предложенного способа формирования упрочненного слоя и расширить практическое применение результатов.

5. В ряде случаев следовало бы провести более детальный анализ полученных результатов. В частности, указать возможные причины, почему наблюдаются расхождения в величине напряжений, определенных различными методами, и указать, какой метод дает наиболее достоверные результаты (с. 72-82).

Соискатель Загорских О.А. согласилась с замечаниями на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:

1. В диссертационной работе ставилась цель – модифицировать поверхность труб (упрочнить) так, чтобы продлить ресурс их работы в условиях ФК. Задача получить максимальные величины поверхностной микротвердости и величины остаточных сжимающих напряжений методом ГДО – не ставилась. Необходимым и достаточным условием ГДО являлось улучшение микрогеометрии (шероховатости) наружной поверхности труб и формирование на поверхности измененного (модифицированного) слоя, с благоприятными сжимающими напряжениями и повышенным пределом выносливости в условиях ФК (относительно исходного состояния труб). Помимо повышения эксплуатационной надежности обязательным условием являлось сохранение технологичности труб (т.е. минимальное снижение пластичности наклепанной поверхности). Повышение давления воздуха при ГДО стали 12Х18Н10Т приводит к повышению микротвердости и величины сжимающих напряжений, снижая при этом технологическую пластичность. Перенаклеп поверхности (с точки зрения затруднения перемещения краевых и винтовых дислокаций, истощения микропластичности и понижения релаксационных свойств модифицированного слоя) приведет к снижению разрушающего напряжения и может увеличить скорость развития усталостной трещины и вызвать преждевременную

поломку. Исходя из этого и исходя из результатов испытаний, определены оптимальные (и достаточные) параметры поверхностного слоя при ГДО: микротвердость $HV_{0,025}$, 256 кгс/мм² (на расстоянии $\sim 0,02$ мм от края образца), глубина измененного слоя не менее 44 мкм, величина средних сжимающих остаточных напряжения больше ($- 208,5$) МПа и шероховатость (R_a) менее 1,18 мкм. Согласно регрессионной модели при данных параметрах упрочненного слоя достигается максимальная устойчивость к ФК поверхности труб из нержавеющей аустенитной стали.

2. С замечанием согласна частично. Оптическая микроскопия – это достоверный общепринятый метод исследования микроструктуры металлических материалов. Однако использованный в работе современный и более информативный метод электронной микроскопии позволил оценить влияние поверхностной деформации и протекающие фазовые превращения в измененном (упрочненном) слое, что представляет цель настоящей диссертационной работы. Выполнены исследования тонкой структуры поверхностного слоя, показано наличие новой фазы - мартенсита деформации, что позволило выполнить поставленные в главе 5 задачи. Дополнительные материалы (иллюстрации) с результатами металлографического исследования измененного (модифицированного) слоя и участков фреттинг-коррозии, не вошедшие в главу 5, приведены на слайдах презентации к докладу.

3. При обдувке поверхности (ГДО) стеклянной дробью происходит пластическая деформация (наклеп), т.к. превалирующим является силовой фактор. В процессе обработки формируется «дефектный/ модифицированный» слой с искаженной структурой (в процессе сдвига в зернах металла, искажения кристаллической решетки, изменения формы и размеров зерен) и, соответственно, изменение физико-механических свойств (повышению твердости и прочности поверхности).

Пластическая деформация приводит также к уменьшению плотности металла и увеличению его удельного объема. Это увеличение объема распространяется на глубину распространения пластической деформации. В процессе упрочнения поверхностные пластически деформированные слои стремясь увеличиться, встречают

сопротивление недеформированных слоев металла. В результате в наружном слое появляются напряжения сжатия, а в нижележащих слоях - напряжения растяжения.

По литературным данным в стали 12X18H10T при пластической деформации возможен фазовый переход γ (ГЦК) $\rightarrow$ α' (ОЦК) - образование мартенсита деформации (МД). МД в аустенитных сталях способствует значительному упрочнению и, следовательно, изменению эксплуатационных свойств. МД образуется в зонах пересечения полос скольжения, состоящих из дефектов упаковки и двойников.

4. ГАО - было способом финишной обработки в ручном режиме.

Если вопрос касается ручной обработки мест посадок втулок шлифшкуркой или полировальными кругами для удаления кольцевых технологических рисков, то:

- во-первых, таким способом удалятся только тонкие риски и даже при наличии зеркальной поверхности более грубые риски не исчезнут;

- во-вторых, появляется зависимость результата от человеческого фактора, сложно обеспечить равномерность обработки по окружности,

Упрочняющая обработка образует ненаправленный рельеф и благоприятные сжимающие напряжения.

Полировка не сформирует модифицированный слой с благоприятными сжимающими напряжениями, кроме того, при использовании шлиф машинки не исключен локальный разогрев тонкого поверхностного слоя и «затягивание» рисков.

В работе для сравнения приведено испытание трубок с лучшей шероховатостью – шлифованных, группы Б.

5. Какой метод рентгеновский или механический является более надежным – спорный вопрос. Дело не в том, какой метод является более надежным. Важно знать имеют ли эти методы одну и ту же характеристику. При исследовании остаточных напряжений в пластически деформированных образцах результаты рентгеновского метода совершенно отличаются от результатов, полученных механическим методом. Эти методы разные и сравнивать их можно только качественно. Так рентгеновский метод позволяет измерять эффект макронапряжений, но, кроме того, он измеряет также местные эффекты микронапряжений (которые зависят от свойств материала и величины пластической деформации). Метод «снятия» слоев - разрушающий (Давиденкова) связан с удалением части тела (в которой микронапряжения

уравновешены). Поэтому этот механический метод в основном измеряет макронапряжения (1 рода). Рентгеновский дифракционный метод, измеряющий искажение кристаллической решетки, свободен от такого недостатка, как влияние на измеряемую характеристику интенсивности микронапряжений. Элементы микроструктуры, отображающиеся на рентгенограмме, как правило, представляют собой отдельную фазу или отдельный класс зерен. В этом случае деформация решетки будет измерять совместное действие макро- и микронапряжений. Оба метода являются признанными и достоверными. Если достоверность рассматривать как точность, то метод Давиденкова более достоверный относительно рентгеновского метода замера остаточных напряжений. Поэтому при внедрении какой-либо технологии обработки детали в первую очередь измеряют напряжения методом Давиденкова и, отработав, в технологию и получив удовлетворительные результаты по остаточным напряжениям, проводят окончательный замер рентгеновским методом и далее в процессе изготовления деталей периодически измеряют напряжения рентгеном. Основная цель выполнения замеров ОН – зафиксировать их уровень и знак, заданным методом на всех этапах: с момента проектирования детали, ее изготовления, до исчерпания ресурса. Не важно, каким методом проведено измерение, главное, чтобы оборудование и методика измерений были одобрены по всем процедурам, а результаты измерений обоснованы и использованы в расчетах, подтверждены испытаниями, в этом случае метод можно считать истинным для конкретной детали.

Соискатель указала, что все высказанные замечания будут учтены в дальнейшей научной работе.

В диссертационной работе все заимствованные источники представлены со ссылками на автора или источник.

На заседании «02» сентября 2025 г. диссертационный совет принял решение о том, что диссертация Загорских О.А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, и принял решение присудить Загорских О.А. степень кандидата технических наук по научной

специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов за исследования влияния финишной упрочняющей обработки (ГДО стальной дробью) на физико-механические свойства, структурно-фазовый состав и долговечность в условиях фреттинг-коррозии, а также за разработку режима упрочняющей обработки и построение математической модели.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 4 доктора технических наук по научной специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – нет.

Председательствующий

Заместитель председателя

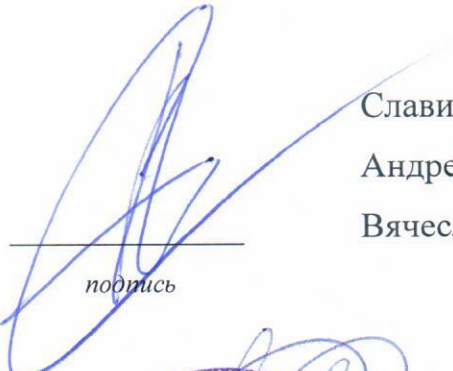
диссертационного совета

д.т.н., доцент

Славин

Андрей

Вячеславович


подпись

Ученый секретарь

диссертационного совета

к.т.н.

Горбовец

Михаил

Александрович


подпись

Дата оформления заключения: «02» сентября 2025 г.