

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Загорских Ольги Анатольевны на тему

«ФОРМИРОВАНИЕ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

1 Актуальность темы диссертационного исследования.

Диссертация Загорских Ольги Анатольевны посвящена разработке режимов упрочняющей поверхностной обработки изделий (труб) из аустенитной нержавеющей стали для повышения ее стойкости к фреттинг-коррозии (ФК) и фреттинг-усталости (ФУ). Учитывая перспективы развития авиационной промышленности, а также необходимость в обеспечении длительного ресурса оборудования авиационных двигателей, тема диссертации является актуальной и практически важной.

2 Общая характеристика содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, 6 глав, общих выводов, списка литературы из 96 наименований. Работа изложена на 143 страницах, содержит 42 рисунка и 18 таблиц. Диссертация написана хорошим техническим языком. Цель работы сформулирована диссертантом как: разработка режимов упрочняющей поверхностной обработки изделий (труб) из аустенитной нержавеющей стали для повышения ее стойкости к ФК и ФУ.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, степень разработанности темы исследования, цель и задачи, которые необходимо решить для достижения цели, научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов. Перечислены документы, подтверждающее внедрение результатов, описан личный вклад автора диссертации.

Первая глава диссертации представляет собой литературный обзор, содержащий описание механизмов развития ФК и методов её предотвращения. На основе анализа научных публикаций изложены теоретические основы повышения стойкости к ФК и ФУ поверхности металлических материалов, подверженных циклическим нагрузкам в условно неподвижных соединениях. Теоретически обоснована целесообразность применения в качестве метода повышения ФК и ФУ прочности труб из нержавеющей стали 12Х18Н10Т путем упрочнения поверхности. На основе проведенного обзора сформулированы цель и задачи настоящей работы.

Вторая глава содержит перечень оборудования и материалов, использованных в работе, а также подробное изложение методов исследований, которые позволили получить достоверные и достаточно исчерпывающие результаты. Следует отметить, что диссертант провел глубокий статистический анализ полученных результатов, поэтому достоверность результатов не вызывает сомнений.

В третьей главе приведены результаты сравнительных испытаний образцов труб из стали 12X18H10T после различных режимов гидродробеструйной обработки (ГДО) стеклянной дробью и после гидроабразивной обработки (ГАО) электрокорундом в сравнении с исходным шлифованным у поставщика состоянием (без дополнительной обработки).

Определен уровень остаточных напряжений на упрочненных стеклянной дробью образцах (2-1, 2-2) и образцах, обдутых электрокорундом (3-1..3-3) сравнительно с исходным шлифованным состоянием (1-1 и 1-2) в осевом направлении двумя методами: рентгеновским на установке XSTRESS 3000 Robot (неразрушающим методом) и методом Давиденкова на установке МерКулОН «Тензор-3» (механический/разрушающий метод, основан на вырезке из детали образца).

Минимальные сжимающие остаточные напряжения наблюдаются у исходных шлифованных образцов 1-1 группы А. Средние значения остаточных напряжений образцов 3-1 и 3-3, обдутых электрокорундом по режимам 1 и 3, соответственно, остались на уровне исходного шлифованного состояния образцов 1-1. Некоторое повышение остаточных напряжений (более чем на 50 % относительно исходного шлифованного состояния 1-1) наблюдается только на образцах 3-2, обдутых электрокорундом по режиму 2 при большем давлении воздуха.

Эпюры распределения остаточных напряжений, показывают, что у шлифованных серийных образцов 1-1 (группа А) максимальные сжимающие напряжения находятся вблизи поверхности (на расстоянии до ~5-10 мкм), величина которых не превышает (-25) кгс/мм². У шлифованных образцов 1-2 (группы Б) остаточные напряжения неравномерные по длине и окружности трубы: на отдельных участках трубы сжимающие напряжения до – (20-50) кгс/мм² наблюдаются вблизи поверхности, на других участках максимальные сжимающие напряжения до (-10 кгс/мм²) залегают на глубине до 20 мкм, у поверхности переходящие в растягивающие до 5 кгс/мм².

Показано, что такое распределение остаточных напряжений (с максимумом не у поверхности) может быть связано с релаксационными явлениями на поверхности трубы.

ГДО позволила улучшить микрогеометрию и шероховатость наружной поверхности труб из стали 12X18H10T, устранить грубые кольцевые риски глубиной до 20 мкм, являющиеся очагами усталостного разрушения, и сформировать на поверхности измененный

слой (глубиной 80 мкм) с микротвердостью $HV_{0.025}$ до 346 кгс/мм² (на глубине 0,02 мм) и средним уровнем остаточных сжимающих напряжений, определенных на установке XSTRESS 3000 Robot, порядка (-482) МПа. Степень наклепа поверхности в исследованных сечениях составила 65,5 %. Сформированный ГДО слой обладает также повышенным пределом выносливости и повышает стойкость к фреттинг-коррозии (относительно исходного материала).

Четвертая глава посвящена проведению и анализу результатов циклических испытаний соединений из стали 12X18H10T. Для определения влияния дополнительной обработки поверхности труб (наличия измененного слоя и шероховатости) на фреттинг-стойкость и усталостную прочность трубопроводов в сравнении с исходным (шлифованным) состоянием, выполнены сравнительные вибро/усталостные испытания образцов труб с разными вариантами финишной обработки поверхности.

Установлена зависимость фреттинг-коррозионной и фреттинг-усталостной прочности шлифованных труб (Ø8х1) мм из стали 12X18H10T. Показано, что наиболее эффективна финишная обработка ГДО стеклянной дробью по режиму 1: с вращением образцов на установке КС-150А/5D по программе ЧПУ, с расстоянием до обрабатываемой поверхности 35 мм и углом обработки 90 град в течении 30 сек, рабочая жидкость - стеклянная дробь фракцией (0,3-0,4) мм, 30 % в суспензии при давлении воздуха 0,1 МПа. В условиях возникновения поверхностной деформации при ГДО образцов труб стеклянной дробью при заданном режиме, в поверхностном слое упрочненных образцов произошел фазовый переход ГЦК-ОЦК с образованием мартенсита деформации (α'), процентное содержание которого в измененном слое составило ~27%.

В пятой главе приведены данные фрактографического анализа и определено, что очаговые зоны развития усталостных трещин на шлифованных образцах, разрушенных при усталостных испытаниях, совпадали с отдельными кольцевыми рисками на поверхности труб, образовавшимися на операциях круглой шлифовки при изготовлении труб у поставщиков. При микрорентгеноспектральном анализе в локальных участках ФК на поверхности испытанных образцов труб на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA3 в продуктах ФК всех образцов труб выявлено повышенное содержание кислорода (до 34%), железа и легирующих элементов, входящих в марку 12X18H10T, при этом количество хрома и никеля в продуктах ФК значительно ниже (более чем в 2 раза), чем в основном материале трубы.

Выводы, сделанные автором по результатам проведенных исследований в Заключение, отражают содержание работы и являются обоснованными. Диссертация однозначно имеет практическую значимость. Работа оформлена в соответствии с

требованиями, предъявляемыми к диссертационным работам, обладает внутренним единством. Материал изложен логично, иллюстрирован рисунками и таблицами. Автореферат отражает содержание диссертации.

3 Достоверность и новизна научных положений, выводов и результатов состоит в следующем:

Достоверность результатов работы обеспечена согласованностью экспериментальных результатов, полученных с использованием разнообразных методов исследования структуры, фазового состава и свойств изучаемых материалов, сертифицированного аналитического и испытательного оборудования и подтверждена результатами статистической обработки результатов экспериментов.

- Разработаны теоретические основы повышения стойкости к ФК и ФУ труб из нержавеющей аустенитной стали, подверженной циклическим нагрузкам в условно неподвижном соединении.

- Впервые показано, что создание на поверхности труб из нержавеющей аустенитной стали поверхностного слоя (путем упрочнения поверхности стеклянной дробью) повышает устойчивость материала к ФК и ФУ.

- Выявлена зависимость для прогнозирования влияния шероховатости поверхности, уровня остаточных напряжений и микротвердости поверхности на изменение времени до разрушения образцов труб из нержавеющей аустенитной стали в условиях вибрации и ФК.

4 Значимость для науки и практики полученных автором диссертации результатов заключается в следующем:

- Практически подтверждена целесообразность применения упрочняющей поверхностной обработки изделий (труб) из аустенитной нержавеющей стали, эксплуатируемых в условиях ФК; по результатам испытаний в АО «ОДК-ПМ» выпущены протоколы испытаний, технические справки, технические акты.

- 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 хорошие результаты замеров на специальной контрольно-измерительной машине (до и после проведения упрочняющей обработки ГДО), на ГГ.

5 Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность результатов диссертации Загорских О.А. подтверждается системным подходом и применением современных методов исследования влияния упрочняющей поверхностной обработки труб из стали 12Х18Н10Т на стойкость к ФК

и ФУ; публикациями полученных автором научных результатов в рецензируемых научных журналах, а также апробацией работы на российских и международных конференциях/симпозиумах. Все выводы и рекомендации, сделанные автором работы, достаточно обоснованы.

6 Личный вклад автора заключается в постановке целей и задач, обосновании результатов экспериментов, изложении научных положений и выводов, разработке методик проведения экспериментов, а также в непосредственном проведении испытаний и обработке результатов экспериментальных исследований по определению влияния ГДО на ФК и ФУ.

7 Полнота опубликования основных результатов диссертационной работы

Основные результаты диссертации Загорских О.А. представлены в 5 публикациях в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus, РИНЦ, 4 из которых рекомендованы ВАК при Минобрнауки России для опубликования результатов кандидатских и докторских диссертаций. Результаты работы доложены на 4 российских и международных конференциях.

8 Замечания по диссертации

По содержанию и оформлению диссертационной работы имеются следующие замечания и вопросы:

1. 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, размер зерна и т.д. и добавить информации в работе.

2. Отсутствует статистическая обработка результатов испытаний, на графиках и в таблицах нет интервалов варьирования.

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

4. Главы диссертации 4 и 6 не разбиты на подпункты, что усложняет восприятие текста.

5. В главах 2-6 отсутствуют промежуточные выводы.

6. 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 по диссертационной работе не снижают ее научной, практической и теоретической значимости. Диссертационная работа Загорских Ольги Анатольевны является законченным научно-исследовательским трудом и соответствует паспорту специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

9 Заключение о соответствии диссертации и автореферата критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертационная работа отвечает требованиям пп. 9 – 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 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.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук, доцент, доцент
международного научно-образовательного центра
«BaltTribo-Polytechnic» ИММиТ
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»,
научная специальность 05.16.09 Материаловедение (по
отраслям)



Цветкова Галина Викторовна

«23»_июня 2025 г.

моб. тел. 8911-902-99-33, e-mail: tsvetkova_gv@mail.ru, tsvetkova_gv@spbstu.ru

Подпись Цветковой Галины Викторовны удостоверяю

МП



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Почтовый адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29 литера III

E-mail: office@spbstu.ru

Телефон: +7 (812) 775-05-30