

УТВЕРЖДАЮ



Директор федерального государственного
бюджетного учреждения науки института
машиноведения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук

В.А. Глазунов

28 ноября 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук на диссертационную работу Королева Даниила Дмитриевича «Разработка технологии лазерной ударной обработки для повышения усталостной прочности компрессорных лопаток из титановых сплавов авиационных двигателей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Диссертация Королева Даниила Дмитриевича посвящена применению технологии лазерной ударной обработки для повышения усталостной прочности компрессорных лопаток авиационных двигателей.

Актуальность темы. Повышение усталостной прочности деталей двигателей летательных аппаратов (ДЛА) с использованием лазерной ударной обработки является актуальной задачей, решение которой позволит увеличить ресурс и надежность элементов ДЛА, а также снизить затраты на ремонт и обслуживание техники. Лопатки компрессора наиболее чувствительны к воздействию знакопеременных нагрузок, а попадание в тракт двигателя постороннего предмета усугубляет процесс усталостного разрушения. Стойкость к усталостному разрушению лопаток в значительной степени определяется ее свойствами поверхностного слоя после изготовления, в частности наличием сжимающих остаточных напряжений. Поэтому модификация поверхностного слоя детали с применением лазерной ударной обработки позволяет рассчитывать на повышение усталостной прочности.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства. Государственная программа «Развитие авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года» направлена на поддержание необходимого уровня безопасности

полетов, обеспечение технологического суверенитета в авиатранспортной отрасли Российской Федерации. Представленные в диссертационной работе: методика выбора режимов лазерной ударной обработки и рекомендации по обработке компрессорных лопаток, могут быть использованы для увеличения ресурса и надежности элементов ДЛА, что обеспечивает требование программы по уровню безопасности полетов. Применение технологии лазерной ударной обработки позволит обеспечить технологический суверенитет РФ в авиатранспортной отрасли.

Целью работы Королева Даниила Дмитриевича является повышение усталостной прочности рабочей лопатки компрессора низкого давления ГТД из титанового сплава с использованием лазерной ударной обработки. Решаемые автором задачи включали: проведение анализа технологии ЛУО и разработка методики выбора режимов лазерной ударной обработки авиационных материалов, применяемых для изготовления лопаток; проведение экспериментальных исследований для определения влияния режимов лазерного излучения на геометрические, физико-механические, химические характеристики поверхностного слоя и эксплуатационные характеристики образцов, изготовленных из титанового сплава ВТ6; разработку рекомендаций по технологии обработки рабочих лопаток компрессора ГТД из титановых сплавов; проведение апробации разработанных режимов ЛУО и сравнительных усталостных испытаний рабочих лопаток компрессора ГТД, обработанных по штатной технологии и с использованием лазерной ударной обработки.

Используемые автором методы исследования свойств поверхностного слоя образцов соответствуют современному уровню.

Оценка новизны, практической значимости результатов диссертации и рекомендации по их использованию. Новизна работы Королева Даниила Дмитриевича заключается в следующих впервые полученных научных результатах:

1. Установлен эффективный диапазон значений интенсивности лазерного излучения при лазерной ударной обработке титанового сплава ВТ6 при длительности импульса 60 нс равный $2-7 \text{ ГВт/см}^2$, в котором наблюдается линейный рост пластической деформации и значений микротвердости обрабатываемой поверхности;
2. Установлено, что в диапазоне от 2 до 7 ГВт/см^2 ЛУО не изменяет шероховатости (Ra) поверхности титанового сплава ВТ6, волнистость (Wa) повышается в 3,5 раза, а величина измененного приповерхностного слоя составляет не более 2,2 мкм;

3. Установлено, что в диапазоне от 2 до 7 ГВт/см² ЛУОБП увеличивает значение шероховатости поверхности до Ra = 4,961 мкм, волнистость (Wa) повышается в 15 раз, а величина измененного приповерхностного слоя составляет не более 5 мкм;
4. Установлено, что максимальная степень наклепа при ЛУО для режима 6,5 ГВт/см² достигает 19%, а для ЛУОБП, под термическим слоем, достигает 11%;
5. Установлено, что ЛУО наводит в титановом сплаве ВТ6 устойчивые сжимающие остаточные напряжения (от 300 до 800 МПа в зависимости от режимов) на глубину до 1мм. При ЛУОБП значения остаточных напряжений с глубины более 300 мкм сравнимы со значениями остаточных напряжений после ЛУО, однако в диапазоне от 0 до 300 мкм остаточные напряжения существенно ниже из-за плавления поверхности в результате воздействия лазерного излучения.
6. Установлен диапазон глубины проникновения остаточных напряжений при обработке титанового сплава ВТ6, который составляет 300-1000 мкм при изменении интенсивности лазерного излучения с 2 до 7 ГВт/см²;
7. Установлено, что ЛУО позволяет получить прирост усталостной долговечности титанового сплава ВТ6 на 136% относительно образцов после дробеметной обработки и на 268% относительно исходных неупрочненных образцов. На основе фрактографического анализа показано, что прирост усталостной долговечности связан с увеличением расстояния от очага усталостной трещины до поверхности образца.

Практическая значимость диссертационной работы заключается: в разработанной комплексной методике подбора режимов лазерной ударной обработки для различных авиационных материалов; в разработанных технологических рекомендациях по обработке лопаток компрессора ГТД лазерной ударной обработкой; в разработанной опытной технологии лазерной ударной обработки кромок пера рабочей лопатки компрессора из титанового сплава ВТ6, которая позволила повысить усталостную прочность лопаток на 16%. Предложенные Королевым Д.Д. методика выбора режимов и рекомендации по обработке лопаток могут быть рекомендованы при подборе оптимального режима лазерной ударной обработки компрессорных лопаток ГТД для повышения их усталостной прочности.

Практическая ценность полученных результатов подтверждена результатами выполненных НИР, НИОКР и актом об их использовании на предприятии: ОКБ им. А. Люльки филиал ПАО «ОДК-УМПО».

Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и заключений, выносимых на защиту, обоснована необходимым объемом экспериментальных исследований, применением комплекса современных методов исследования, использованием сертифицированного и поверенного оборудования, воспроизводимостью результатов измерений, стандартными методиками исследований и испытаний.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 122 наименований. Общий объем диссертации составляет 132 страницы (включает 80 рисунков, 10 таблиц и 3 приложения). Материал диссертации изложен логично, последовательно и аргументировано, редакционных замечаний, кроме некоторых мелких описок, не имеется.

В первой главе рассматриваются базовые представления об усталости элементов авиационных двигателей и технологических методах повышения усталостных характеристик. Обоснован выбор применения лазерной ударной обработки для повышения усталостной прочности деталей.

Во второй главе рассмотрены основные закономерности и физическая картина процесса лазерной ударной обработки. Показано, что в практике наибольшее применение нашли два способа упрочнения: ЛУО (лазерная ударная обработка с абляционным покрытием), ЛУОБП (лазерная ударная обработка без абляционного покрытия).

В третьей главе представлены исследуемый материал и геометрические параметры образцов, использованных в исследованиях, описаны методики исследований и оборудование.

В четвертой главе приведены результаты исследований образцов из титанового сплава ВТ6 после лазерной ударной обработки.

В пятой главе приводятся методика выбора режимов лазерной ударной обработки авиационных материалов; рекомендации по обработке лопаток компрессора ГТД; результаты усталостных испытаний лопаток компрессора ГТД обработанных по разработанной опытной технологии лазерной ударной обработки.

Замечания по диссертационной работе. Несмотря на достаточно высокий научный уровень, диссертационная работа не лишена недостатков, к которым можно отнести следующие:

1. На рисунке 4.19 приведена зависимость изменения микротвердости по глубине образца после ЛУО, которая носит не монотонный, как обычно, а – колебательный характер, объяснение которой не приводятся;
2. На рисунках 4.22 и 4.26 приведены зависимости изменения остаточных напряжений по глубине образца после ЛУО, которые носят не крючкообразный, как обычно, а – колебательный характер, при этом объяснения таким поведением не приводятся;
3. Полученные в работе результаты измерения остаточных напряжений и микротвердости не проанализированы с позиции их возможной релаксации под действием повышенных температур;
4. На рисунке 4.32 приведены результаты испытаний на многоцикловую усталость образцов после ЛУО, однако не проведены испытания на малоцикловую усталость.
5. В работе представлены результаты экспериментов в зависимости от интенсивности лазерного излучения, однако менялись только значения энергии и диаметра лазерного пучка в незначительных диапазонах. Варьирование других важных параметров ЛУО (разных видов прозрачных слоев и их толщин, способов сканирования поверхностей, двухсторонней и многократной обработок) в работе не отражено;
6. В тексте диссертации встречаются опечатки, грамматические неточности, отклонения от общепринятых норм написания подстрочных и надстрочных индексов в формулах.

Приведенные замечания, однако, не препятствуют положительной оценке диссертационной работы.

Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати. По теме диссертации опубликовано 13 работ, из них в рецензируемых научных изданиях и изданиях, приравненных к ним, опубликовано 2 работы, 1 патент на изобретение и 1 свидетельство на программу для ЭВМ. Апробация работы произведена на 9 выступлениях путем участия в различных всероссийских и международных конференциях.

Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертационная работа Королева Даниила Дмитриевича выполнена на высоком научном уровне. Результатом работы является решение важной задачи в сфере авиационного двигателестроения. Полученные результаты можно квалифицировать как новые, обоснованные и имеющие большое практическое и научное значение.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Работа соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Королев Даниил Дмитриевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Отзыв на диссертационную работу Королева Д.Д. «Разработка технологии лазерной ударной обработки для повышения усталостной прочности компрессорных лопаток из титановых сплавов авиационных двигателей» обсужден и одобрен на научно-техническом совете отдела «Вибрационная биомеханика» ИМАШ РАН, протокол № 2 от 27 ноября 2024 года.

Отзыв составил:

Главный научный сотрудник, д.т.н.

Отдел «Вибрационная биомеханика»

ИМАШ РАН



Сахвадзе Геронтий Жорович

Контактные данные организации:

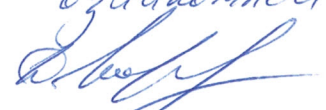
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук.

Адрес: Россия, 101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4

Тел.: 8 (495) 628-87-30

E-mail: info@imash.ru

Сайт: <http://imash.ru/>

С отзывом ознакомлен
2.12.2024 
Королев Д.Д.