

Отзыв

официального оппонента д.т.н., профессора кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «УГАТУ» Смыслова Анатолия Михайловича на диссертационную работу Селиверстова Сергея Дмитриевича «Конструкторско-технологическое совершенствование обогреваемых лопаток входных направляющих аппаратов ГТД, получаемых методом селективного лазерного сплавления», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» (технические науки).

Актуальность работы

Диссертационная работа Селиверстова С.Д. посвящена разработке методических подходов к совершенствованию конструкции обогреваемых лопаток входных направляющих аппаратов ГТД, получаемых методом селективного лазерного сплавления (СЛС), а также исследованию их эксплуатационно-технических свойств. Применение аддитивных технологий позволяет улучшить характеристики изделия, а также уменьшить трудозатраты на цикл производства. Однако, перспективность использования этих технологий не снимает необходимости всестороннего исследования свойств получаемых изделий, а также изменения подходов к проектированию и конструированию деталей и узлов ГТД под новую технологию. Поэтому цель работы, заключающаяся в конструкторско-технологическом совершенствовании обогреваемых лопаток ГТД, получаемых методом селективного лазерного сплавления, является весьма актуальной задачей в современном производстве сложнопрофильных деталей двигателей летательных аппаратов.

Диссертация состоит из введения пяти глав, содержит 124 страницы, 67 рисунков и 18 таблиц, списка литературы из 95 наименований и 3 приложений.

Общая характеристика работы

В первой главе выполнен анализ возможности применения аддитивных технологий в авиационном двигателестроении, на примерах отечественного и

Назав отечественного
обеспечения МАИ
«13» 12 2021 г.

зарубежного опыта компаний и научно-исследовательских институтов. Автором проведена классификация современных аддитивных технологий, описаны их преимущества по сравнению с традиционными технологиями производства деталей ГТД.

Вторая глава посвящена описанию объекта исследования – лопатка входного направляющего аппарата (ВНА) двигателя ТВЗ-117. Приводятся условия работы объекта, а также краткое описание традиционной технологии производства лопаток ВНА с противообледенительной системой (ПОС).

В третьей главе приведены описания материалов, оборудования и методик для определения эксплуатационных и технических свойств изделий, получаемых методом СЛС. На основании рабочих условий объекта исследования, выбраны следующие изучаемые свойства: микроструктура и химический состав; шероховатость поверхности; механическая прочность; усталостная прочность; стойкость к фреттинг-износу; стойкость к эрозионному износу; стойкость к коррозионному износу; теплопроводность. Поскольку свойства изделий после СЛС могут варьироваться в зависимости от угла ориентации в камере построения в процессе печати, автор исследует приведенные свойства для трех положений: 0, 45 и 90 градусов к платформе построения. Также описаны методики проведения экспериментов.

В четвертой главе приведены результаты проведенных экспериментов, а также анализ по каждому из них. Так, автором установлено, что предел прочности на разрыв образцов материала полученного СЛС не уступает прутку стали 316L, а сами образцы не имеют выраженных внутренних дефектов. При проведении исследований показана зависимость шероховатости поверхностей, а также теплопроводности синтезированных образцов от угла ориентации к платформе построения. Наименьшая шероховатость была получена на поверхностях, ориентированных под углом 90 градусов к платформе построения ($Ra=11$), наибольшая под углом 45 градусов ($Ra=80$). Теплопроводность образца, изготовленного под углом 0 градусов к платформе построения получилась на 25-30% выше, чем под углом 90 градусов. По полученным результатам усталостных

испытаний, предел выносливости синтезированного материала CL 20ES получился на 40% выше, чем у материала 316L полученного прокатом.

Пятая глава посвящена разработке методики конструкторско-технологического совершенствования обогреваемых лопаток ВНА с ПОС, получаемых методом СЛС. Автор проводит аналитический обзор по вопросу зависимости пористости от угла ориентации изделия в камере построения. На основе анализа делается вывод, что наименьшая пористость образуется при печати под углом 45 градусов относительно платформы построения. Также автор проводит анализ работ, посвященных вопросу печати отверстий и пазов малых размеров под разными углами ориентации. Кроме того, приводятся результаты экспериментальной работы по проливке и продувке каналов модельных лопаток с отверстиями диаметром 1 мм. Здесь автор приходит к выводу, что в результате печати, отверстия получаются меньшего диаметра, чем заложено в исходной 3Д-модели. Предложено использовать методы электроимпульсной и последующей электрохимической полировки, чтобы нивелировать неточности размеров и формы.

На основании полученных экспериментальных и аналитических данных автор предлагает регрессионную модель, учитывающую анизотропию свойств при печати под разными углами. На основании экспериментальных данных по теплопроводности и шероховатости, а также аналитическим данным по пределу прочности и пористости построены графики для углов 0, 45 и 90 градусов к платформе построения. Методом аппроксимации получены функции зависимости для каждой из характеристик.

Согласно поставленным задачам диссертантом разработана методика проектирования и рекомендации, по конструированию обогреваемых лопаток ВНА с ПОС, получаемых методом СЛС. Методика направлена на оптимизацию процесса проектирования и установление порядка взаимодействия между конструктором и технологом в процессе работы.

В данной главе приводятся также результаты термогазодинамического и теплового расчета обогреваемой лопатки ВНА с ПОС для её оригинальной

конструкции, а также новых вариантов конструкции, призванных уменьшить расход воздуха, отдираемого на подогрев лопатки.

Анализ материалов диссертации Селиверстова С.Д. позволяет сделать вывод, что в ней содержится ряд научно-методических разработок, имеющих несомненную **научную новизну**, среди которых следует отметить:

- определение анизотропии свойств по теплопроводности в зависимости от угла ориентации в камере построения при изготовлении лопатки методом СЛС из порошка CL 20ES;
- разработка комплексной методики проектирования обогреваемых лопаток ВНА с ПОС, позволяющей реализовать рациональную конструкцию изделия с учетом анизотропии свойств, получаемой в процессе СЛС;
- определение рациональной конструкции обогреваемой лопатки ВНА с ПОС для вертолетного ГТД, полученной с учетом разработанной методики проектирования обогреваемых лопаток ВНА с ПОС, получаемых методом СЛС.

По результатам анализа материалов диссертационной работы следует отметить следующие **замечания**:

- в главе 2 приводится весьма поверхностная информация по условиям работы лопатки ВНА, а также технических требований к её изготовлению;
- для всех испытаний, кроме оценки параметров шероховатости, на аддитивных образцах проводилась механическая обработка. При этом не указаны наименования выполненных операций, величины снимаемых припусков, а также режимы обработки, определяющие качество поверхностного слоя и, как следствие, их эксплуатационные свойства;
- приведенные в главе 4 результаты усталостных испытаний лишь констатируют факт, что образцы полученные по технологии СЛС имеют, в сравнении с образцами из стали, выше на 40% предел выносливости. Вместе с тем, в работе нет обоснования причин такого повышения с позиций

качества поверхностного слоя (величина наклёпа, величина и глубина залегания остаточных поверхностных напряжений, изменения структуры и фазового состава). Не показано место зарождения трещины усталости (с поверхности или из-под поверхности), не описан характер излома и скорость развития трещины усталости, что позволило бы автору более обоснованно объяснить причины большей выносливости и долговечности материала полученного по технологии СЛС;

— в главе 5 предложена конструкция лопатки ВНА полученная с применением технологии СЛС, которая обеспечивает, по мнению автора диссертации, снижение расхода обогреваемого воздуха на 30%. Однако им не приводятся какие-либо обоснования и доказательства, за счет каких изменений в конструкции лопатки достигнуты такие результаты.

Заключение по диссертационной работе

В целом, диссертация Селиверстова С.Д. выполнена на высоком научно-техническом уровне и является завершённой работой. Её автор проявил себя научным работником, способным самостоятельно ставить и решать теоретические и практические задачи в области технологии производства двигателей летательных аппаратов. К сильным сторонам работы следует отнести значительное количество экспериментальных исследований, результаты которых имеют высокую практическую значимость. Разработанная на основе этих результатов методика конструирования обогреваемых лопаток ВНА с ПОС, учитывающая анизотропию ряда эксплуатационно-технических характеристик изделий после СЛС, может оптимизировать работы по внедрению аддитивных технологий в производство деталей и узлов ГТД.

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 научных изданиях, 5 из них входящих в перечень ВАК и прошли апробацию на 6 научно-технических конференциях. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в производстве авиакосмической и машиностроительной технике, а также в других отраслях промышленности.

По научному уровню полученным результатам, содержанию и оформлению, представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённом Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор Селиверстов Сергей Дмитриевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Профессор кафедры
«Технология машиностроения»
ФГБОУ ВО «УГАТУ»,
д.т.н., профессор



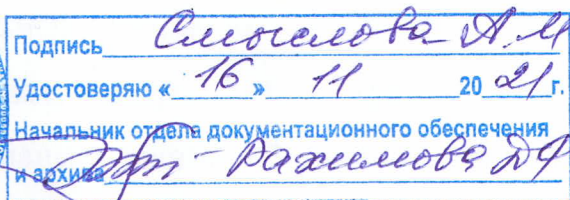
Смыслов Анатолий Михайлович

Докторская диссертация защищена по специальности 05.07.05-«Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, д.12
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Электронный адрес: <https://www.ugatu.su/>

Телефон: +7(987)254-38-29



Смывом омакшмен
13.12.2021 