

Коллектив представляет комплексную научно – исследовательскую и практическую работу по созданию инновационных аддитивных технологий для изготовления топологически оптимизированных ответственных деталей машиностроения, двигателестроения и их внедрение в отечественную промышленность, в первую очередь для нужд гражданского авиастроения.

В настоящее время гражданское авиастроение в России столкнулось с вызовами, заключающимися в проектировании и изготовлении большого количества самолетов. Такие самолеты должны быть конкурентоспособными, а применяемые при их изготовлении технологии - способны к массовому производству. Нарращивание производства гражданских самолетов до 2030 года должно обеспечить выпуск более 500 самолетов, в том числе 270 лайнеров МС-21, 142 самолета Superjet и 115 Ту-214. До 2030 года в России необходимо создание не менее **1000 турбовентиляторных двигателей различной тяги**, которые должны обладать высоким КПД, быть экономичными, технологичными в производстве и ремонтпригодными. В России это двигатели семейства ПД (рисунок 1), ВК и др. Среди преимуществ таких двигателей:

- снижение расходов на эксплуатацию по сравнению с аналогами;
- соответствие современным и перспективным экологическим требованиям ИКАО;
- удельный расход топлива на крейсерском режиме на 10 – 15 % лучше аналогов.



Рисунок 1 – Турбовентиляторные двигатели семейства ПД: ПД-8 и ПД-14

В настоящий момент в повышении функциональных характеристик турбовентиляторных двигателей большой импульс приобретают аддитивные технологии.

В рамках настоящей работы разработаны изделия, обладающие сложной геометрией, в том числе с тонкими стенками и ячеистыми структурами, и элементами топологической оптимизации. Разработаны аддитивные технологии и технологии постобработки аддитивных изделий. Изготовлены опытные и серийные образы изделий для перспективных российских турбовентиляторных двигателях семейства ПД и ВК. **Разработанные, изготовленные аддитивным способом и впоследствии внедренные изделия, узлы и агрегаты обеспечили высокие эксплуатационные характеристики турбореактивных двигателей семейства ПД и ВК.**

Аддитивные технологии являются относительно новыми методами формирования изделий и заготовок. Формообразование изделия происходит путем наплавления тонких слоев порошка между собой, в отличие от методологии субтрактивного производства.

**Применение аддитивных технологий, в частности селективного лазерного и электронно – лучевого сплавления, позволили добиться существенного технологического и экономического преимущества, существенно повысить технологические и конструкторские возможности изготовления функциональных изделий, в том числе:**

- изделия обладают сложной геометрией, в том числе тонкостенными и сетчатыми структурами;
- изделия обладают сниженной массой и могут быть спроектированы с использованием методов CAE-систем (топологическая оптимизация, биоинженерный дизайн);
- изделия обладают сниженной материалоемкостью, так как формообразование происходит путем сплавления порошка, а не механического удаления лишнего материала из заготовки;
- применение методов аддитивного производства обеспечило возможность объединения нескольких сложнопрофильных деталей в единое изделие;

- при разработке конструкции изделий и технологий их изготовления обеспечено существенное сокращение времени на технологическую подготовку производства, так как отсутствовала необходимость изготовления дополнительной оснастки и проектировании сложных многокоординатных траекторий механической обработки – движения инструмента. В результате чего срок изготовления опытных образцов авиационных изделий сократился с полутора лет до нескольких месяцев;
- повышение эксплуатационных характеристик узлов и агрегатов перспективных авиационных двигателей, в том числе путем применения недостижимой ранее геометрии входящих в их состав изготовленных аддитивными методами изделий.

В современном двигателестроении возможность объединения нескольких сложнопрофильных деталей в единое изделие позволяет добиться существенных технологических и экономических преимуществ. Например, сокращение количества деталей в топливном сопле двигателя позволяет уменьшить количество деталей с двадцати до одной, это приводит к уменьшению веса на 25%, сокращению времени сборки, уменьшению количества сварных соединений и повышению надежности узла двигателя. Снижается количество подрядчиков, задействованных в изготовлении такого изделия, что позволяет оптимизировать цепочки поставок и снизить логистические расходы.

В рамках настоящей работы проведены исследования по разработке и проектированию изделий с использованием созданных коллективом авторов аддитивных технологических процессов селективного лазерного и электронно-лучевого сплавления, способов подготовки аддитивного производства и технологий контроля изделий. Проведены комплексные работы по разработке методик математического моделирования производственных и технологических процессов, разработке отечественного программного обеспечения подготовки изделий двигателестроения к серийному производству с учетом возможностей современных аддитивных технологий.

Разработаны новые материалы и технологии сплавления изделий с повышенным комплексом свойств. Проведены компьютерное моделирование и комплексные испытания изделий при сочетании различных теплосиловых нагрузок. Созданы математические модели разработки новых наукоемких аддитивных технологий, их практического освоения и внедрения, а также отечественное программное обеспечение для моделирования и производства изделий, получаемых аддитивными методами. Разработанные технологии были применены для серийного производства изделий отечественных авиационных двигателей семейства ПД и ВК.

Разработаны опытно-промышленные технологии селективного лазерного и электронно-лучевого сплавления и изготовлены из легких конструкционных сплавов на основе титана и алюминия, и жаропрочных сплавов следующие детали двигателей семейства ПД и ВК:

- 1) Сопловые и рабочие лопатки турбины низкого давления для перспективного двигателя семейства ПД (рисунок 2а);
- 2) Сопловые и рабочие лопатки турбины высокого давления для перспективного двигателя семейства ПД (рисунок 2б);
- 3) Секторы соплового аппарата для перспективного двигателя семейства ПД (рисунок 3);
- 4) Корпус опоры для перспективного двигателя семейства ВК (рисунок 4);
- 5) Топологически оптимизированные облегченные кронштейны авиационные (рисунок 5).

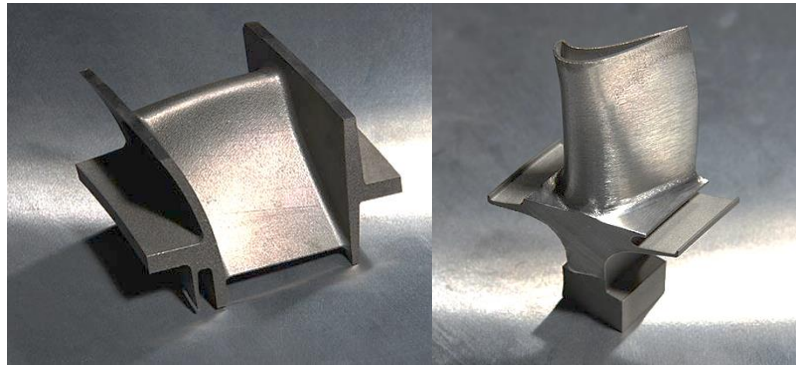


Рисунок 2 – Лопатка холодной части для перспективного турбореактивного двигателя семейства ПД (слева) и лопатки турбины высокого давления для перспективного двигателя семейства ПД из жаропрочного сплава, полученные селективным лазерным сплавлением из жаропрочного сплава

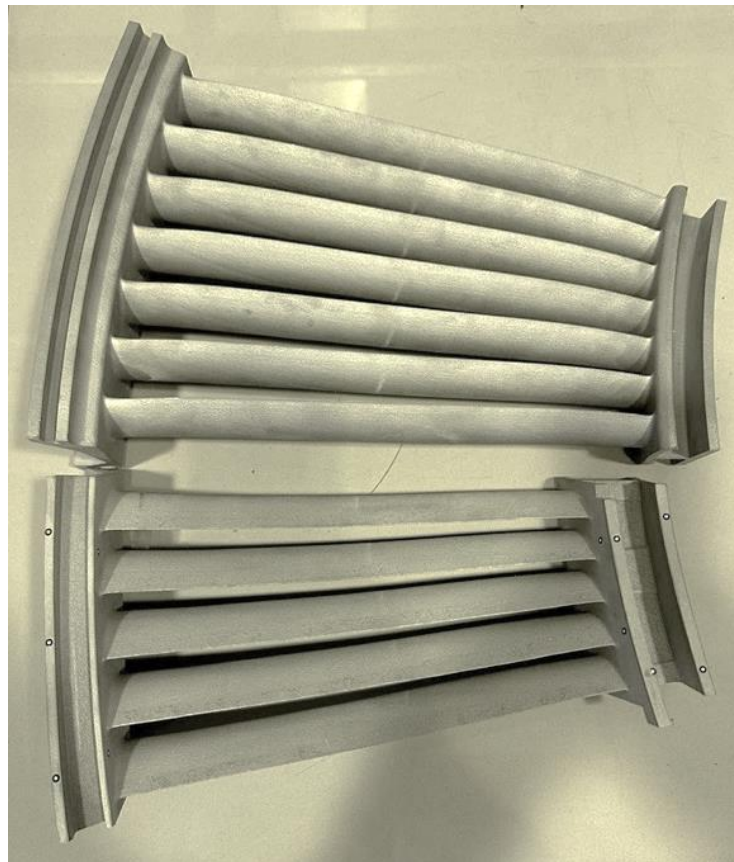


Рисунок 3 – Секторы соплового аппарата для перспективного двигателя семейства ПД из жаропрочного сплава, полученная селективным лазерным сплавлением из жаропрочного сплава



Рисунок 5 – Корпус опоры для перспективного двигателя семейства ВК, полученный селективным лазерным сплавлением



Рисунок 6 – Кронштейны для авиационной промышленности с облегченным дизайном из алюминиевого и титанового сплавов (AlSi10Mg и Ti4Al6V)

Помимо разработки аддитивных технологий изготовления (селективное лазерное сплавление и селективное электронно-лучевое сплавление) также разработаны технологии постобработки таких изделий, включающие процессы и технологические режимы термообработки, механической обработки, финишной абразивной, лучевой и электрохимической обработки.

Созданные наукоемкие технологии аддитивного производства и функциональные изделия авиационного назначения с повышенным комплексом свойств соответствуют национальным научно – технологическим приоритетам в части решения актуальных задач повышения эффективности и конкурентоспособности отечественной гражданской авиации. Результаты работы представлены в более чем в 120 журнальных статьях (73 WOS/Scopus и 31 Q1), получено более 30 патентов РФ, отмечены 15 наградами международных и отечественных конкурсов и выставок.

Рассчитанный совокупный экономический эффект разработки опытных образцов изделий авиационных двигателей составил 3,787 млрд. рублей или 1,893 млрд. рублей в год за два года проведения ОКР.

Совокупный экономический эффект разработки и внедрения аддитивных изделий в перспективные авиационные двигатели составил 34,764 млрд. рублей или 4,966 млрд. рублей в год до 2030 года согласно плану АО «ОДК» на выпуск перспективных двигателей серии ПД и ВК.