ПАО «ОДК-Сатурн», Рыбинск, Ярославская область

Кандидат технических наук **Ильин Игорь Валерьевич**
Ilin Igor Valerievich
Кандидат технических наук **Редькин Иван Александрович**
Redkin Ivan Aleksandrovich
Кандидат технических наук **Сасарин Алексей Михайлович**
Sasarin Aleksey Mikhailovich
Федосеев Денис Владимирович
Fedoseev Denis Vladimirovich

ОРГАНИЗАЦИЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕМЕНТОВ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛОПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИ ЖАРОПРОЧНОГО КОБАЛЬТОВОГО СПЛАВА

В настоящее время аддитивные технологии (далее АТ), являются одним из наиболее динамично развивающихся направлений в производстве газотурбинной техники. Внедрение АТ позволяет существенно сократить цикл изготовления деталей и снизить их стоимость, использовать материалы, формообразование которых, традиционными технологиями не возможно или затратно, создавать конструкций с уникальной топологией, изменить бизнес-модель производства услуг (ремонт, сервис, кастомизация).

ПАО «ОДК-Сатурн», успешно внедряет аддитивные технологии в цепочку создания ценностей. Имея более чем 10 летний опыт применения аддитивных технологий, ПАО «ОДК-Сатурн», обладает:

- необходимой инфраструктурой для аддитивного производства;
- компетенциями во всех основных направлениях аддитивного производства востребованных в авиадвигателестроительной отрасли, а именно – селективное лазерное спекание полимерных материалов, селективное лазерное сплавление металлопорошковых композиций, электронно-лучевое сплавление и прямое нанесение металла;
- замкнутой технологической цепочкой (проектирование с применением топологической оптимизации с учетом действующих нагрузок, виртуализация процесса синтеза, послойный синтез заготовок деталей, термообработка и газо-изостатическое прессование, постобработка, комплексный контроль на всех этапах производства).

Для успешного внедрения аддитивных технологий в производственный цикл на предприятии создана уникальная экосистема,

разработан и внедрен замкнутый цикл производства от 3D модели до готовой детали ГТД. Создано конструкторско-технологическое плато. Более 50 специалистов различных направлений – конструктора, специалисты по прочностным расчетам, неразрушающему контролю, технологи, металлурги и т.д. непосредственно принимают участие в разработке, изготовлении и внедрении деталей ГТД с использованием АТ.

Специалистами службы генерального конструктора ПАО «ОДК-Сатурн» была разработана, апробирована и на текущий момент, внедрена, конструкторско-технологическая цепочка разработки и оптимизации деталей, проектируемых для аддитивного производства (см. рис. 1) позволяющая существенно сократить сроки разработки и внедрения деталей и узлов.

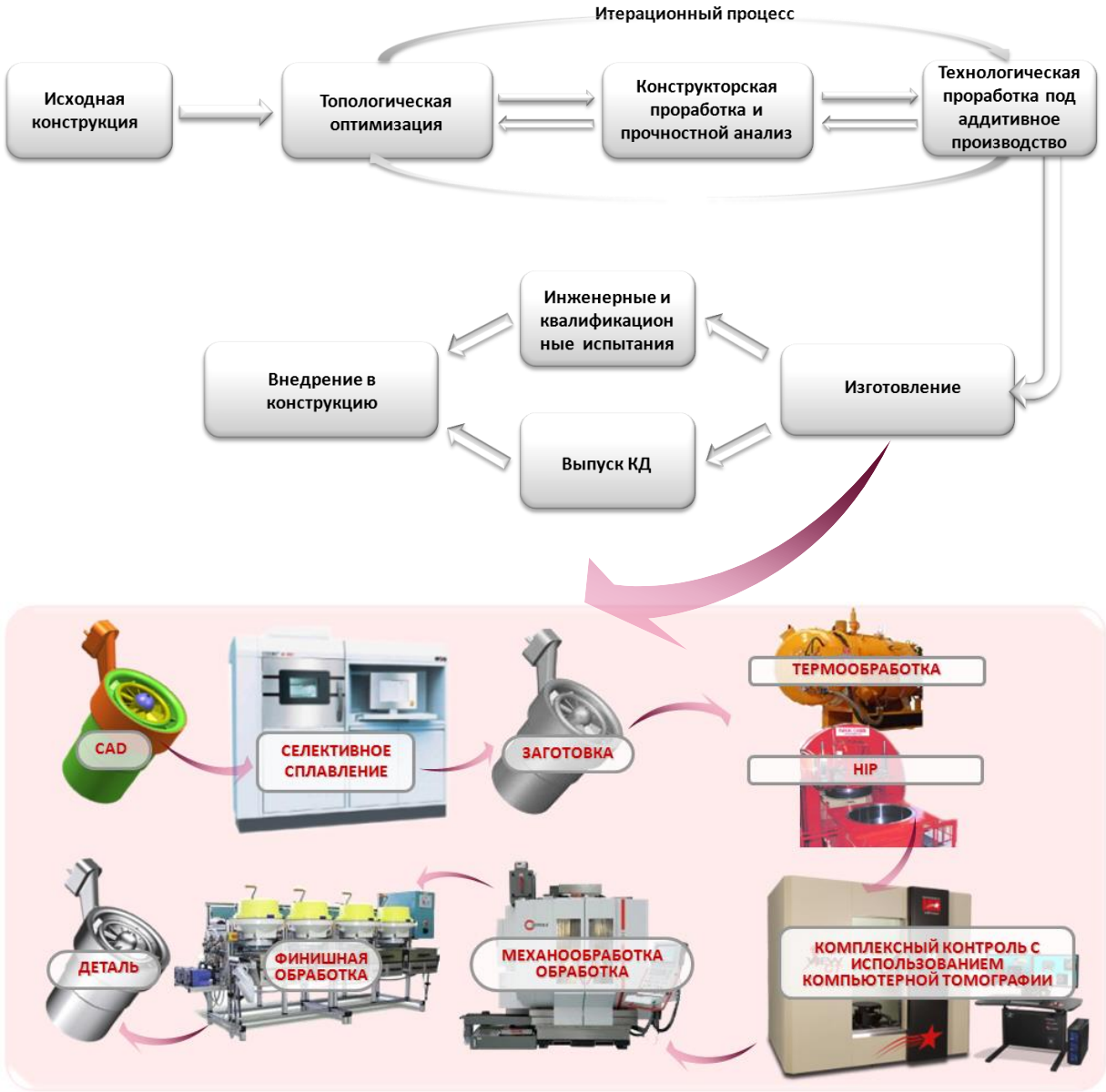


Рисунок 1 – Конструкторско-технологическая цепочка аддитивного производства

Ключевые факторы, учитываемые при разработке дизайна деталей изготавливаемых аддитивными технологиями, это минимизация: массы, площади поверхности, поддерживающих структур, времени построения, остаточных напряжений.

В 2017 г. более 1000 деталей газотурбинных двигателей различного назначения изготовлены аддитивными технологиями из кобальтового, титанового сплавов, нержавеющей стали. В новом ГТД, серийное производство которого начато в 2017г, около двух процентов от общей массы составляют детали, изготовленные послойным синтезом.

Одним из основных сдерживающих факторов внедрения АТ в конструкцию ГТД является отсутствие серийного производства паспортизованных металлопорошковых композиций отечественного производства. В рамках программы импортозамещения и разработки комплексной технологической цепочки производства элементов камер сгорания ГТД аддитивными технологиями, ПАО «ОДК-Сатурн» совместно с ФГУП ВИАМ инициировало работы по паспортизации жаропрочного кобальтового суперсплава отечественного производства, для технологии послойного синтеза на подложке. Были выполнены работы по корректировке параметров качества (гранулометрический состав, морфология, текучесть МПК, содержание посторонних частиц, насыпная плотность, химический состав, и др.) с целью приведения в соответствие с требованиями технологических процессов, подтверждения применимости в АТ и обеспечения необходимого уровня эксплуатационных характеристик синтезированных изделий. В ходе работ, на стандартных синтезированных образцах, был подтвержден высокий уровень механических свойств синтезированного материала (см. рис. 2).

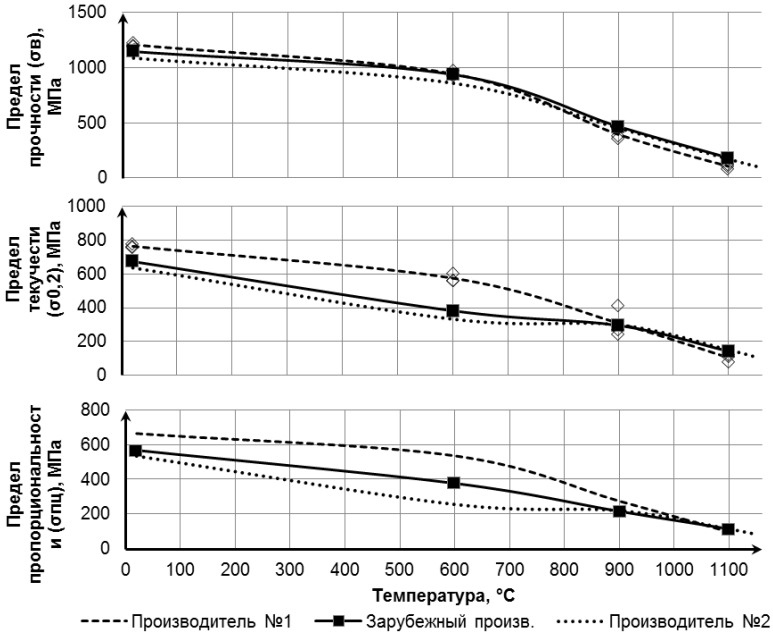


Рисунок 2 – Результаты испытаний синтезированного материала

Положительные результаты проведенных работ, подтвердили возможность использования отечественной МПК кобальтового сплава, для синтеза элементов камеры сгорания, например, таких как горелочные устройства и завихрители камер сгорания ГТД.

В настоящее время, специалистами ПАО «ОДК-Сатурн» проведен полный комплекс экспериментальных и опытных работ по определению эксплуатационных характеристик деталей типа «завихритель» синтезированных методами АТ в сравнении с изготовленными по традиционным технологиям. Основные результаты представлены на рис. 3 – 4.

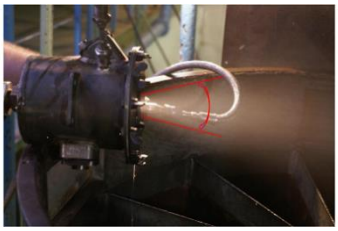
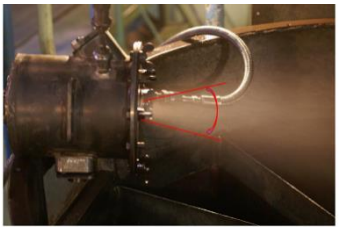
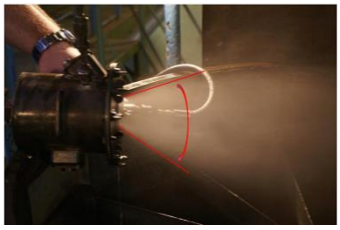
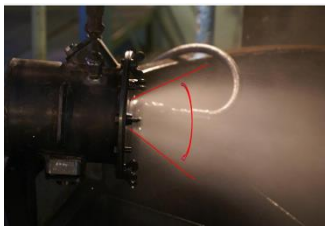
Режим работы	С применением традиционной геометрии детали «завихритель» (деталь изготовлена традиционными технологиями)	С применением оптимизированной геометрии детали «завихритель» (деталь изготовлена методами АТ)
«Запуск»	 Угол раскрытия - 29˚	 Угол раскрытия - 28˚
«Холостой ход»	 Угол раскрытия - 58˚	 Угол раскрытия - 64˚

Рисунок 3 – Исследование параметров распыла топлива

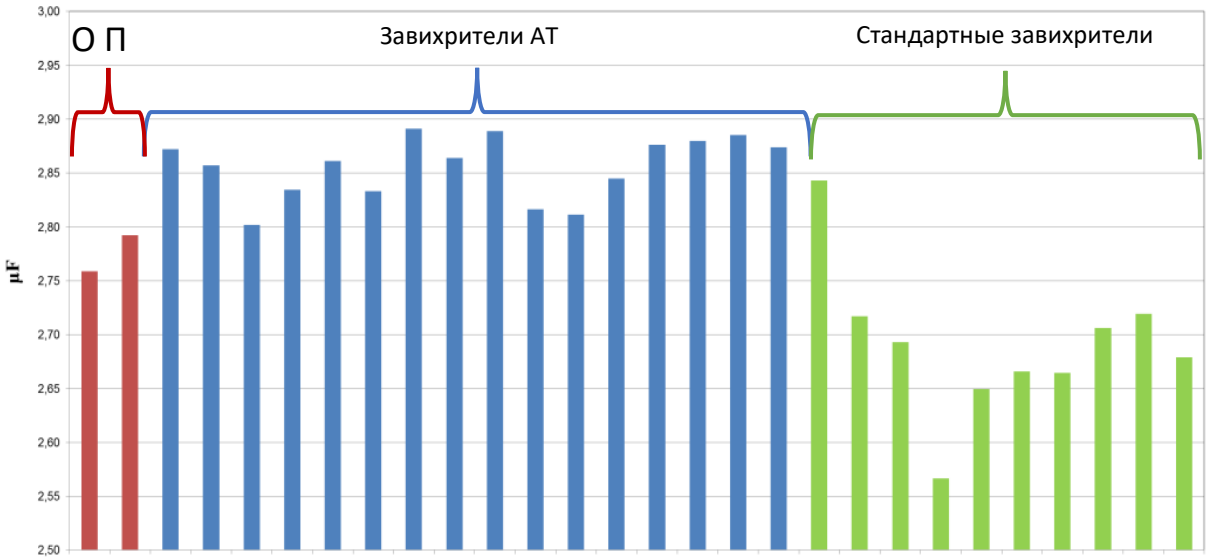


Рисунок 4– Результаты определения расходных характеристик завихрителей

Помимо рассмотренных деталей, так же были проведены работы по оптимизации детали «Центральный завихритель фронтового устройства камеры сгорания». Особенностью данной работы стала интеграция двадцати деталей в одну. Центральный завихритель изготавливаемый традиционными технологиями и детали, из которых он состоит, представлены на рисунке 5. Завихритель изготовленный методами АТ представлен на рисунке 6.

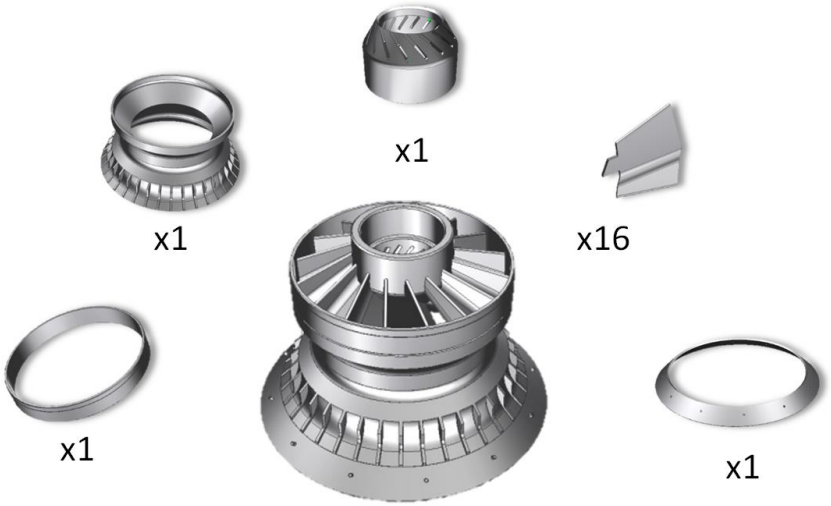


Рисунок 5 – Центральный завихритель и входящие в его состав ДСЕ

Рисунок 6 – Центральный завихритель, изготовленный АТ

Результаты определений расходных характеристик завихрителей изготовленных аддитивными технологиями (рис. 4) показывают стабильность экспериментальных данных в диапазоне ±2% от номинального значения, заложенной конструкторской документацией, в то время как завихрители изготовленные по традиционной технологии

имеют разброс характеристик ±6%. Снижение разброса параметров в 3 раза по сравнению с завихрителями изготовленных традиционными технологиями говорит о высокой стабильности и повторяемости аддитивного процесса. Минимизация разброса расходных характеристик завихрителей способствует стабильному процессу сгорания топлива и как следствие более высокой полноте сгорания, снижению выбросов вредных веществ и повышению ресурса двигателя,.

На текущий момент более 1500 деталей камер сгорания ГТД изготовлены аддитивными технологиями, экономический эффект составил несколько миллионов рублей.

Выводы:

В ПАО «ОДК-Сатурн» организовано аддитивное производство заготовок изделий для ГТД из отечественных металло-порошковых композиций, эффективность которого подтверждена на примере производства завихрителей для камер сгорания ГТД. При этом достигнуты следующие результаты:

- уменьшено количество производственных подразделений, задействованных в изготовлении завихрителей с 5 до 3;
- уменьшено число технологических операций в 5 раз (с 200 до 40)
- уменьшено количество задействованного технологического оборудования в 3,3 раза (с 10 до 3 единиц);
- уменьшено время изготовления одного завихрителя в 3,24 раза (с 343 до 106 часов).
- С целью импортзамещения, проведен цикл подготовительных работ по паспортизации синтезированного материала из порошка кобальт-хромового сплава отечественного производства, не уступающего по свойствам лучшим европейским аналогам.