

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 03.10.2014г. № 14.626.21.0001 по теме «Исследования и разработка экспериментальных аддитивных технологий для изготовления и ремонта сложнопрофильных деталей газотурбинных двигателей (ГТД) с использованием металлических порошков жаропрочного сплава на основе никеля» с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе 4 «Разработка технологии горячего изостатического прессования сложнопрофильных деталей ГТД» в период с 01.01.2016 по 30.06.2016 выполнены следующие работы:

- разработана программа и методики экспериментальных исследований технологических режимов процесса горячего изостатического прессования сложнопрофильных деталей ГТД, изготовленных методом послойного лазерного сплавления металлических порошков жаропрочных сплавов на основе никеля (МПЖСН);

- проведены экспериментальные исследования технологических режимов процесса горячего изостатического прессования образцов сложнопрофильных деталей ГТД, изготовленных методом послойного лазерного сплавления МПЖСН экспериментальных партий и импортного МПЖСН промышленной серии;

- обоснованы оптимальные значения технологических параметров процесса горячего изостатического прессования сложнопрофильных деталей ГТД, изготовленных методом послойного лазерного сплавления МПЖСН экспериментальных партий и импортного МПЖСН промышленной серии;

- разработана технологическая инструкция по горячему изостатическому прессованию сложнопрофильных деталей ГТД, изготовленных методом послойного лазерного сплавления МПЖСН экспериментальных партий и импортного МПЖСН промышленной серии;

- изготовлены по разработанным технологическим инструкциям послойным лазерным сплавлением МПЖСН экспериментальных партий и

горячим изостатическим прессованием экспериментальные образцы сложнопрофильных деталей ГТД;

- изготовлены по разработанным технологическим инструкциям послойным лазерным сплавлением импортного МПЖСН промышленной серии и горячим изостатическим прессованием экспериментальные образцы сложнопрофильных деталей ГТД;

- проведены сравнительные исследования состава, структуры и свойств материалов экспериментальных образцов сложнопрофильных деталей ГТД, изготовленных послойным лазерным сплавлением МПЖСН экспериментальных партий и импортного МПЖСН промышленной серии и горячим изостатическим прессованием;

- разработана программа и методики численных исследований влияния на характеристики наплавленных слоев технологических параметров процесса лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН;

- проведены численные исследования влияния на характеристики наплавленных слоев технологических параметров процесса лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН экспериментальных партий и импортного МПЖСН промышленной серии;

- обоснованы требования к сложнопрофильным деталям ГТД, отремонтированным методом лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН;

- разработана программа и методики экспериментальных исследований технологических режимов процесса лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН;

- проведены экспериментальные исследования технологических режимов процесса лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН экспериментальных партий;

- обоснован выбор диапазонов значений основных технологических параметров процесса лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН экспериментальных партий.

В процессе работы была разработана программа экспериментальных исследований технологических параметров процесса горячего

изостатического прессования синтезированных сплавов, которая подразумевала проведение количественного металлографического анализа, рентгеновского фазового анализа и исследования микроструктуры методом растровой электронной микроскопии. По разработанной Программе и методикам были проведены экспериментальные исследования режимов горячего изостатического прессования на образцах, изготовленных методом послойного лазерного сплавления порошков жаропрочных сплавов на основе никеля. По результатам проведенных экспериментальных исследований обоснованы оптимальные значения параметров ГИП синтезированных сплавов марок ВЖ159, ВЖЛ12У, ВКНА-1ВР, ЖС6К и Inconel 718.

На основании полученных результатов разработана и оформлена технологическая инструкция ТИ 1.595-16-895-2016 «Горячее изостатическое прессование сложнопрофильных деталей ГТД, изготовленных методом послойного лазерного сплавления металлических порошков жаропрочных сплавов на основе никеля», содержащая в пункте 6.1.2 раздела 6 секрет производства (ноу-хау) «Режимы горячего изостатического прессования сложнопрофильных деталей ГТД, изготовленных методом послойного лазерного сплавления порошков жаропрочных сплавов на основе никеля марок ВЖЛ12У-ВИ, ЖС6К-ВИ, ВКНА-1ВР-ВИ, ВЖ159 и Inconel 718» (Приказ № 246а от 30.06.2016 г.), обеспечивающая получение сложнопрофильных деталей ГТД с минимальной пористостью в соответствии с требованиями Технического задания.

По разработанной технологической инструкции ТИ 1.595-16-894-2015 изготовлены экспериментальные образцы сложнопрофильных деталей ГТД методом послойного лазерного сплавления МПЖСН экспериментальных партий и импортного МПЖСН промышленной серии, а также образцы для проведения сравнительных исследований, проведены по разработанной ТИ 1.595-16-895-2016 процессы горячего изостатического прессования образцов сложнопрофильных деталей ГТД и образцов для исследований.

Отечественные материалы, полученные по разработанным технологиям селективного лазерного сплавления и горячего изостатического прессования,

не уступают, а по ряду характеристик (рабочая температура, жаростойкость) превосходят зарубежный аналог, получаемый серийным производством.

Разработана программа и методики численных исследований влияния на характеристики наплавленных слоев технологических параметров процесса лазерной газопорошковой наплавки. По разработанной программе и методикам проведены численные исследования влияния режимов наплавки на геометрию валика, что открывает возможности прогнозирования и оптимизации параметров синтезируемых слоев путём эффективного управления процессами тепломассопереноса и фазовых превращений на основании компьютерных моделей, связывающих параметры лазерного излучения, потока частиц и качество наплавки. В качестве сплавляемых порошковых материалов в численных исследованиях используются МПЖСН экспериментальных партий (ВКНА-1ВР-ВИ и ВЖЛ-12У-ВИ) и импортный МПЖСН промышленной серии (Inconel 718). Рассчитаны геометрические характеристики (высота, ширина, степень перемешивания) валика, а также формирующиеся остаточные напряжения в одиночном валике в зависимости от параметров процесса.

Сформулированы основные требования к сложнопрофильным деталям ГТД, отремонтированным методом лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН.

Разработана программа и методики экспериментальных исследований технологических режимов процесса лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН. Проведено обоснование выбора диапазонов значений основных технологических параметров процесса лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН экспериментальных партий. Проведены экспериментальные исследования технологических режимов процесса лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН экспериментальных партий. Изучена микроструктура наплавленных сплавов ВКНА-1ВР и ВЖЛ12У по режимам без подогрева и с предварительным подогревом подложки.

По результатам экспериментальных исследований параметров лазерной газопорошковой наплавки МПЖСН экспериментальных партий выбраны

наилучшие режимы наплавки, позволяющие получать наплавленные образцы без трещин и несплавлений как в наплавленном валике, так и в переходной зоне. Выбранные режимы лазерной газопорошковой наплавки будут использованы в следующем этапе выполнения ПНИЭР при отработке технологии ремонта лопаток ГТД.