

## МОДИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ГОРЕЛКИ МЭКС ДВИГАТЕЛЕЙ НК-14СТ, НК-36СТ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СЛС ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ВЖ159

Петрухин А. Г.<sup>1</sup>, Агаповичев А. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, [pag@uec-kuznetsov.ru](mailto:pag@uec-kuznetsov.ru)

<sup>2</sup>Самарский университет, г. Самара.

*Ключевые слова:* малоэмиссионная камера сгорания, горелка, выбросы вредных веществ, СЛС, ВЖ159.

В настоящее время большое внимание в мире уделяется вопросам экологии. В сфере газотурбинных установок на основании поручения Президента Российской Федерации и по итогам заседания Президиума Государственного совета от 27.05.2010 года в ПАО «Газпром» утверждена Научно-техническая политика, согласно которой должны быть обеспечены следующие экологические характеристики на 2020 год: NOx не более 25...30 мг/м<sup>3</sup>, CO не более 100 мг/м<sup>3</sup>. С целью обеспечения указанных требований в ПАО «ОДК-Кузнецов», совместно с Самарским университетом, реализуются проекты по внедрению малоэмиссионных камер сгорания (МЭКС) в конструкцию газотурбинных двигателей промышленного применения – НК-14СТ, НК-36СТ. При текущем конструктивном исполнении двигателя НК-14СТ уровень выбросов по NOx достигает 270 мг/м<sup>3</sup>, что не удовлетворяет заявленным требованиям и сдерживает дальнейшее продвижение двигателей на рынке. Освоение изготовления МЭКС открывает для двигателя рынка сбыта в составе электростанций, как правило, находящихся в черте городов, а также зарубежные рынки, например, КНР. МЭКС двигателей НК-36СТ находятся в опытной эксплуатации. Суммарная наработка четырех МЭКС в составе двигателей составляет 91350 часов с зафиксированными показателями по выбросам NOx=15мг/м<sup>3</sup>, CO=44мг/м<sup>3</sup> (при Tн=+6°), что подтверждает возможность повсеместного внедрения разработанной камеры сгорания на двигателях.

Анализируя вышесказанное, ключевой задачей для оперативного внедрения является снижение стоимости и сроков изготовления ДСЕ МЭКС, в том числе одного из трудоемких узлов – горелки, рассматриваемой в разрезе данной работы. По предварительной оценке, замена типа заготовки – литой на заготовку, полученную технологией селективного лазерного сплавления (СЛС), позволяет снизить общий цикл изготовления с 10 месяцев до 2, также ожидается снижение стоимости узла.

Реализация проекта по разработке и изготовлению горелок из жаропрочного сплава ВЖ159 для двигателей НК-14СТ, НК-36СТ предполагает выполнение следующих этапов:

1 Определение оптимального режима СЛС жаропрочного сплава ВЖ159 на установке SLM280 для аддитивного производства.

2 Адаптация и совершенствование конструкции рассматриваемого узла под технологию СЛС.

3 Изготовление и испытание опытного образца с последующей корректировкой конструкции (при необходимости).

4 Изготовление комплекта горелок для МЭКС двигателя, испытание полноразмерной камеры сгорания и в составе ГТД.

В рамках реализации первого этапа по определению оптимального режима выращивания проведена работа на 48 плоских образцах без термообработки, изготовленных на установке SLM 280, на 16 режимах. Предварительные результаты по исследованию механических свойств показывают отсутствие существенных различий в уровне механических свойств без термообработки, предел прочности составляет 96-108 кгс/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение 16-25%. При исследовании качества материала выявлено наличие непропаев на расстоянии 0,12...0,19 мм от боковых поверхностей на всех образцах, что свидетельствует о

необходимости дополнительной просушки материала перед сплавлением. В дальнейшем запланирована работа по оценке изменения свойств материала после термообработки (старение) и ГИП, а также последующее определение на образцах кратковременных механических свойств при различных температурах, получение характеристики длительной прочности.

По второму этапу проведена работа по оптимизации конструкции горелки под технологию СЛС. За прототип была принята ранее не освоенная в изготовлении разборная конструкция горелки, позволяющая повысить ремонтпригодность узла в условиях предприятия, а также возможность технического обслуживания в эксплуатации. Проведено сокращение номенклатуры ДСЕ, входящих в узел «Горелка», оптимизированы внутренние каналы и отверстия для обеспечения возможности печати без «поддержек». На рис. 1 представлено сравнение базовой конструкции и адаптированной под СЛС.

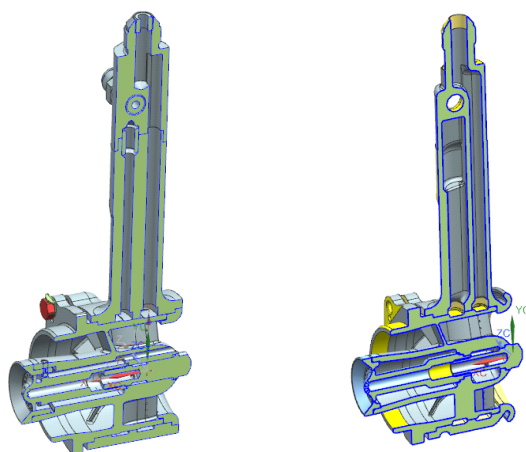


Рис. 1 – Базовая конструкция и адаптированная под СЛС

В рамках работы по третьему этапу проводится отработка изготовления опытного образца для определения достаточности «поддержек» с целью минимизации поворотов материала во время сплавления, контроль геометрических параметров изделия после завершения каждой технологической операции, проводится подготовка к испытанию первого образца.

По завершению указанных этапов планируется внедрение горелок МЭКС на двигателях НК-14СТ, НК-36СТ при изготовлении ГТД вновь и доработка двигателей при капитальных ремонтах в качестве доп. опций.

### Список литературы

1. Бантиков Д.Ю., Васильев В.И., Лавров В.Н., Кустов Д.И., Цыбизов Ю.И., Шариков Б.Ю. Малоэмиссионная горелка: патент РФ № 2442932; опубл. 20.02.2012; бюл. №5.
2. Елисеев Ю.С., Федорченко Д.Г., Голанов С.П., Цыбизов Ю.И., Тюлькин Д.Д., Воротынцев И.Е., Ивченко А.В. Применение аддитивной технологии селективного лазерного сплавления в конструкции малоэмиссионной камеры сгорания газотурбинной установки // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18, № 1. С. 174-183. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-174-183
3. Бантиков Д.Ю., Васильев В.И., Лавров В.Н., Кустов Д.И., Цыбизов Ю.И., Шариков Б.Ю. Малоэмиссионная горелка: патент РФ № 2442932; опубл. 20.02.2012; бюл. № 5.
4. Агаповичев А.В., Кокарева В.В., Алексеев В.П., Смелов В.Г. Исследование структуры и механических свойств образцов, полученных технологией селективного лазерного сплавления из порошка жаропрочного сплава Inconel 738 // Черные металлы. 2021. № 1, С. 67-71.
4. Суфияров В.Ш., Борисов Е.В., Полозов И.А., Масайло Д.В. Управление структурообразованием при селективном лазерном плавлении // Цветные металлы. 2018. № 7. С. 68–74.

Сведения об авторах

Петрухин Анатолий Геннадьевич, заместитель главного конструктора. Область научных интересов: вопросы проектирования, производства и эксплуатации конвертированных авиационных двигателей в наземных установках.

Агаповичев Антон Васильевич, канд. техн. наук. Область научных интересов: аддитивные технологии.

**MODIFYING THE DESIGN OF NK-14ST/NK-36ST GAS TURBINE LOW-EMISSION  
COMBUSTOR BURNER AND DEVELOPMENT OF SLS TECHNOLOGY  
FOR ITS MANUFACTURING FROM VZH159 HEAT-RESISTANT ALLOY**

Petrukhin A.G.<sup>1</sup>, Agapovichev A.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PJSC “UEC-Kuznetsov», Samara, Russian Federation, [pag@uec-kuznetsov.ru](mailto:pag@uec-kuznetsov.ru)

<sup>2</sup>Samara National Research University, Samara, Russia, [ivanov@mail.ru](mailto:ivanov@mail.ru)

*Keywords: low-emission combustion chamber, burner, VZh159, harmful emissions, selective laser sintering (SLS).*

The article outlines the main trends in toughening the requirements to gas turbine environmental performance in ground applications. The authors describe the main stages of combustor burner design modification and SLS technology development for burner manufacturing from VZh159 alloy. The burner design adapted for additive technology application is presented.