

ЖАРОПРОЧНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ И СТАЛИ, ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД

УДК 669.018.44

О.Г. Оспенникова¹

ИТОГИ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ ЛИТЕЙНЫХ И ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ И СТАЛЕЙ ЗА 2012–2016 гг.

DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-17-23

Рассмотрены основные достижения за последние пять лет научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных во ФГУП «ВИАМ» в 2012–2016 гг. в области создания нового поколения жаропрочных литейных и деформируемых сплавов и сталей. Работы выполнены в рамках реализации комплексных научных направлений: 3. «Компьютерные методы моделирования структуры и свойств материалов при их создании и работе в конструкции», 7. «Интерметаллидные материалы», 9. «Монокристаллические, жаропрочные суперсплавы, естественные композиты», 10. «Энергоэффективные, ресурсосберегающие и аддитивные технологии получения деталей, полуфабрикатов и конструкций» и 17. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

Ключевые слова: компьютерные методы моделирования; интерметаллидные материалы; монокристаллические, жаропрочные суперсплавы, естественные композиты; аддитивные технологии; упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия.

O.G. Ospennikova

Implementation results of the strategic directions on creation of new generation of heat-resisting cast and wrought alloys and steels for 2012–2016

The main achievements over the last five years of the research and developmental works, executed at FSUE «VIAM» in 2012–2016 in the field of

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

development of new generation of heat resisting cast and wrought alloys and steels are considered. Works are executed within the implementation of the complex scientific directions: 3. «Computer modeling methods of structure and properties of materials at their development and work in construction», 7. «Intermetallic materials», 9. «Single-crystal, heat-resisting superalloys, natural composites», 10. «Power-efficient, resource-saving and additive technologies for producing details, semi-finished products and constructions» and 17. «The complex anticorrosive protection, hardening, wear-protective and heat-protection coatings» («The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030») [1].

Keywords: *computer modeling methods; intermetallic materials; single-crystal, heat-resisting superalloys, natural composites; the additive technologies; hardening, wear-resistant protective and heat-protection coatings.*

В 2011 г. в соответствии с приоритетными направлениями и критическими технологиями развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, определенными указом Президента РФ №899 от 7 июля 2011 г., во ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ под руководством Генерального директора, академика РАН Евгения Николаевича Каблова разработаны «Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» с учетом приоритетов государственной политики в промышленной сфере и стратегий развития государственных корпораций и интегрированных структур.

В основу Стратегических направлений заложены основные принципы создания современных материалов для сложных технических систем, базирующиеся на постулатах единства (неразрывности) материалов, технологий и конструкций, а также реализации полного жизненного цикла с использованием IT-технологий: создание материала – эксплуатация в конструкции – диагностика, ремонт, продление ресурса – утилизация. Стратегические направления систематизированы, исходя из анализа тенденций развития материалов в мире, по 18 направлениям, 9 из которых направлены на разработку комплекса научно-технологических решений для создания нового поколения жаропрочных литейных и деформируемых сплавов и сталей.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 19.09.2016 г. ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ определен головной организацией по приоритетному технологическому направлению «Технологии материаловедения», а Указом Президента Российской Федерации от 20.07.2016 г. №347 Е.Н. Каблов определен руководителем приоритетного технологического направления «Технологии материаловедения».

Подводя итоги НИР и ОКР за последние пять лет, выполненных во ФГУП «ВИАМ» в 2012–2016 гг. в области создания нового поколения жаропрочных литейных и деформируемых сплавов и сталей в соответствии

со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 г.», необходимо отметить достигнутые успехи [1–10].

При выполнении Государственного контракта с Минпромторгом России (НИР «Демонстратор-ПД») в период 2014–2016 гг., в рамках федеральной целевой программы (ФЦП) «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации до 2020 года», во ФГУП «ВИАМ» совместно с АО «ОДК»: НИИД (филиал АО «НПЦ газотурбостроения «Салют») и ОКБ им. А. Люльки (филиал ПАО «УМПО») – разработаны промышленные технологии, изготовлены полуфабрикаты, детали и сборочные единицы (ДСЕ) из материалов нового поколения (титановый сплав ВТ41, титановые интерметаллидные сплавы ВТИ-4 и ВИТ1, жаропрочный никелевый сплав ВЖ172, интерметаллидный никелевый сплав ВКНА-1В) для перспективного двигателя «Изделие 30».

Проведен комплекс работ по освоению промышленных технологий изготовления полуфабрикатов в условиях ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», АО «Металлургический завод «Электросталь» и ПАО «Ашинский метзавод», выпущены необходимые партии полуфабрикатов с последующим обеспечением изготовления ДСЕ на АО «НПЦ газотурбостроения «Салют» и ПАО «УМПО», проведены их испытания.

Впервые в истории отечественного двигателестроения, включая и советский период:

- разработана технология электронно-лучевой сварки и изготовлен сварной ротор компрессора высокого давления (КВД) из жаропрочного никелевого сплава ВЖ172, не имеющий болтовых соединений;

- разработана технология электронно-лучевой сварки и изготовлен сварной барабан первой, второй и третьей ступеней КВД конструкции типа «блиск» из жаропрочного титанового сплава ВТ41.

Внедрение материалов нового поколения в конструкцию перспективного двигателя «Изделие 30» позволило обеспечить:

- повышение весовой эффективности на 30–40% благодаря применению интерметаллидных титановых сплавов ВТИ-4 – для корпуса КВД и ВИТ1 – для лопаток четвертой, пятой и шестой ступеней КВД взамен серийных материалов;

- снижение массы конструкций на 15–20% за счет исключения болтовых соединений в сварной конструкции ротора (четвертой, пятой и шестой ступеней и вала) КВД и сварного барабана первой, второй и третьей ступеней КВД;

- повышение максимальной рабочей температуры стенки камеры сгорания на 250°С путем применения нового монокристаллического сплава ВКНА-1В для сегментов жаровой трубы взамен применяемого серийно листового жаропрочного свариваемого сплава ЭП648.

В настоящее время в АО «ОДК» запланированы работы по сборке и испытаниям изготовленных ДСЕ в составе технологического изделия.

В области применения аддитивных технологий для серийных изделий из металлических материалов в 2014–2015 гг. во ФГУП «ВИАМ» и АО «ОДК-Авиадвигатель» в сотрудничестве с институтами РАН и вузами впервые в России с помощью селективного лазерного сплавления из отечественной металлопорошковой композиции сплава ЭП648-ВИ изготовлена деталь двигателя ПД-14 (завихритель фронтального устройства камеры сгорания), отвечающая требованиям конструкторской документации. При этом в 10 раз сокращено время изготовления детали (по традиционной технологии – 60 дней, по аддитивной – 5 дней) и существенно (в 2,5 раза) повышена точность ее изготовления. В настоящее время завихрителями укомплектованы шесть двигателей ПД-14, а для нужд предприятий Российской Федерации изготовлено по аддитивным технологиям более 500 деталей из отечественных металлопорошковых композиций.

В настоящее время во ФГУП «ВИАМ» успешно решена задача по созданию производства отечественных металлопорошковых композиций: в рамках проекта шифра «Тантал» ведется разработка материалов нового поколения для аддитивных технологий изготовления конструктивных элементов авиационных и ракетных двигателей. Спроектирован и изготовлен промышленный атомизатор с бестигельной плавкой электрода, что позволило решить проблему изготовления титановых и интерметаллидных порошковых композиций. В первом полугодии 2017 г. планируется введение в эксплуатацию еще одного атомизатора. Таким образом, будет обеспечен выпуск металлопорошковых композиций в объеме до 150 т в год.

Разработка материалов нового поколения с высоким комплексом физико-химических свойств для использования в аддитивных технологиях совместно с отработкой технологии изготовления особо ответственных конструктивных элементов характеризуется новизной и прорывным характером.

При поддержке фонда перспективных исследований в кратчайшие сроки во ФГУП «ВИАМ» впервые в России проведен демонстрационный эксперимент по созданию и испытанию прототипа малоразмерного газотурбинного двигателя (МГТД) для беспилотных летательных аппаратов, основные детали которого изготовлены по аддитивной технологии – послойного лазерного сплавления с использованием металлопорошковых композиций жаропрочного и алюминиевого сплавов, которые также разработаны во ФГУП «ВИАМ».

Полученный опыт при проведении работ по изготовлению деталей ГТД, ГТУ и МГТД позволяет на данном этапе перейти к решению более сложных задач, связанных с применением интерметаллидных сплавов на основе TiAl и Nb₅Si₃, разработанных во ФГУП «ВИАМ» и

предназначенных для изготовления рабочих лопаток турбин высокого (Nb_5Si_3) и низкого давления (TiAl), которые позволят снизить массу турбины на 25–30% при повышении температуры газа на выходе из камеры сгорания на 150–200°C.

На специально разработанном стенде (с выходом вращения ротора двигателя на 100000 об/мин при температуре газа 640°C на выходе из турбины) прототип-демонстратор показал как высокую работоспособность материалов нового поколения, так и эффективность предложенной технологии. По итогам эксперимента совместно с АО НПО «ОКБ им. М.П. Симонова» принято решение о разработке, изготовлении и испытании модификаций перспективных МГТД для беспилотных летательных аппаратов в интересах Министерства обороны Российской Федерации.

Во ФГУП «ВИАМ» в качестве инициативы и за счет собственных средств впервые в России разработана новая высокопрочная коррозионностойкая сталь со сверхравновесным содержанием азота (>0,3%). Эти стали благодаря уникальному сочетанию высокой прочности и коррозионной стойкости имеют широкие перспективы применения для силовых конструкций самолетов и вертолетов, редукторов и трансмиссий, а также в инструментальной промышленности. Применение в системе легирования высокопрочных сталей сверхравновесного количества азота позволяет отказаться от дорогостоящих и редких металлов, при этом достигается высокий комплекс свойств материалов. По сравнению с обычными нержавеющейими сталями высокопрочные стали со сверхравновесным содержанием азота обладают более высокими показателями твердости, прочности, вязкости разрушения и коррозионной стойкости.

В России, по состоянию на данный момент, такого рода стали не выплавляются из-за отсутствия специального оборудования для их производства — установок электрошлакового переплава под высоким (до 40 ат (4 МПа)) давлением азота. В рамках выполнения ФЦП «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации до 2020 года» по Техническому заданию ФГУП «ВИАМ» на предприятии ООО «НПФ Комтерм» (г. Москва) в 2015 г. впервые в России спроектирована, изготовлена и введена в эксплуатацию единственная в нашей стране полупромышленная установка ДЭШП-0,1 для электрошлакового переплава под давлением.

После ввода в эксплуатацию в 2016 г. оборудования, во ФГУП «ВИАМ» в качестве инициативы и за счет собственных средств приступили к разработке новых высокопрочных коррозионностойких сталей со сверхравновесным содержанием азота и технологий их выплавки, деформации и термической обработки. В результате исследований разработаны уникальные технологические процессы, обеспечивающие получение равномерного

сверхравновесного содержания азота по сечению слитка и требуемый уровень свойств. С применением разработанных технологий первые в России получены слитки из высокопрочной стали со сверхравновесным содержанием азота с твердостью и прочностью, не уступающими аналогичным характеристикам стали Cronidur 30 (Германия) – наиболее широко используемой в мире марки стали со сверхравновесным содержанием азота.

Таким образом, несмотря на введенные в 2015 г. экономические санкции, реализация основных научно-технологических решений и инновационных идей в соответствии со Стратегическими направлениями позволила не только развернуть исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на создание нового поколения жаропрочных сплавов и сталей, но и обеспечить технологическую независимость РФ в области монокристаллических высокожаропрочных сплавов и сталей, что свидетельствует о глубокой проработке и актуальности «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года».

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // Наука и жизнь. 2010. №4. С. 2–7.
3. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Ломберг Б.С. Стратегические направления развития конструкционных материалов и технологий их переработки для авиационных двигателей настоящего и будущего // Автоматическая сварка. 2013. №10. С. 23–32.
4. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
5. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. №1. С. 3–12.
6. Каблов Е.Н. Без новых материалов – нет будущего // Металлург. 2013. №12. С. 4–8.
7. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Редкие металлы и редкоземельные элементы – материалы современных и будущих высоких технологий // Авиационные материалы и технологии. 2013. №52. С. 3–10.
8. Каблов Е.Н. Материалы и технологии ВИАМ в конструкциях

- перспективных двигателей разработки ОАО «Авиадвигатель» // Пермские авиационные двигатели: информ. бюл. 2014. №31. С. 43–47.
9. Евгенов А.Г., Лукина Е.А., Асланян И.Р. Структура и свойства сплавов на основе никеля, полученных методом СЛС // Аддитивные технологии: настоящее и будущее: матер. II Междунар. конфер. М.: ВИАМ, 2016. С. 1.
10. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. №5. С. 8–18.