

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

ORIGINAL ARTICLES

Статья поступила в редакцию 01.12.2016,
доработана 18.02.2017

DOI 10.20915/2077-1177-2016-0-4-31-41

УДК: 006.9:53.089.68:68

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ СОСТАВА И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Луценко А.Н., Летов А.Ф., Карачевцев Ф.Н.

Рассмотрены проблемные вопросы разработки стандартных образцов авиационных материалов. Основное внимание уделено описанию способов решения проблемных вопросов, связанных с выбором композиции химического состава и использованием различных технологий для обеспечения высокой внутри- и межэкземплярной однородности материала стандартных образцов по химическому составу и металлографической структуре. Рассмотрены проблемные вопросы формирования программ выпуска стандартных образцов, показана необходимость расширения номенклатуры СО и ее оптимизации. Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 2.1. «Фундаментально-ориентированные исследования» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

Ключевые слова: стандартные образцы, жаропрочные никелевые сплавы, материалы авиационного назначения, композиционные материалы.

✓ **Ссылка при цитировании:** Луценко А.Н., Летов А.Ф., Карачевцев Ф.Н. Проблемные вопросы разработки стандартных образцов состава и свойств материалов авиационного назначения // Стандартные образцы. 2016. № 4. С. 31–41. DOI 10.20915/2077-1177-2016-0-4-31-41.

Авторы:

ЛУЦЕНКО А.Н.

Начальник Испытательного центра ФГУП «ВИАМ»,
канд. техн. наук
Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17
E-mail: viamlab2@mail.ru

КАРАЧЕВЦЕВ Ф.Н.

Начальник сектора ФГУП «ВИАМ», канд. хим. наук
Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17
E-mail: kara4ev@mail.ru

ЛЕТОВ А.Ф.

Начальник лаборатории ФГУП «ВИАМ», канд. хим. наук
Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17
E-mail: letovaf@viam.ru

Сокращения

ВИАМ – ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов – государственный научный центр Российской Федерации» (ФГУП «ВИАМ», Москва)
ГСО – Государственные стандартные образцы, стандартные образцы утвержденного типа

ГТД – газотурбинный двигатель
ЖНС – жаропрочные никелевые сплавы
НД – нормативная документация
СО – стандартные образцы

Введение

Авиационная промышленность является одним из приоритетных направлений развития национальной экономики и остается одним из ее наиболее высокотехнологичных секторов, потребляющих наукоемкую продукцию [2]. Для создания изделий авиационной техники нового поколения необходимы новые материалы с кардинально улучшенным комплексом служебных характеристик [3], так как применение в конструкции авиационной техники таких материалов позволяет конструкторам реализовать многие прорывные проекты. В мире активно разрабатываются следующие группы материалов, необходимых в том числе для создания изделий авиационной техники: интеллектуальные материалы, метаматериалы, интерметаллиды, нанокристаллические и аморфные металлы, полимерные и полиматричные композиты, высокотемпературные металлические материалы, сплавы с памятью формы, керамика, слоистые материалы и др. Применение данных материалов в конструкциях авиационной техники должно позволить обеспечить экономичность, минимальное негативное воздействие на окружающую среду, высочайший комфорт внутри салона, улучшенные летно-технические характеристики новых поколений изделий авиационной техники [1].

ФГУП «ВИАМ» является ведущим государственным научным центром в области материаловедения. В ФГУП «ВИАМ» реализован полный инновационный цикл – от

фундаментальных и прикладных исследований до создания высокотехнологичных наукоемких производств по выпуску материалов нового поколения, полуфабрикатов и уникального технологического оборудования, создано 21 малотоннажное высокотехнологичное наукоемкое производство по выпуску 210 наименований материалов и полуфабрикатов, которые поставляются предприятиям промышленности [2].

Для обеспечения единства измерений и контроля качества в производстве базовых (серийно выпускаемых) материалов и полуфабрикатов и материалов нового поколения необходимы стандартные образцы состава и свойств.

ФГУП «ВИАМ» занимается разработкой и выпуском из производства СО состава сплавов авиационного назначения с 1941 года [4]. СО для спектрального анализа сплавов и сталей выпускались в виде комплектов (от трех до одиннадцати экземпляров СО) в форме стержней диаметром от 5 до 16 мм и длиной 100–120 мм (рис. 1). Для градуировки рентгенофлуоресцентных спектрометров и вакуумных квантометров, пришедших на смену спектрометрам с фотографической регистрацией спектра, во ФГУП «ВИАМ» было налажено производство СО в форме цилиндров диаметром 40–50 мм и высотой 30–40 мм.

В настоящее время утвержденного типа СО (ГСО) для спектрального анализа выпускаются преимущественно в виде комплектов, состоящих из 5 экземпляров



Рис. 1. Комплекты СО состава сплавов В-95, АЛ-3А и первичного алюминия выпуска 1946 г.



Рис. 2. Утвержденного типа СО состава жаропрочного никелевого сплава ВЖМ5У (комплект) выпуска 2012 г.

СО (рис. 2). В период с 2006 по 2015 год во ФГУП «ВИАМ» был разработан 31 тип СО утвержденного типа (ГСО) сплавов на никелевой (14 типов), алюминиевой (15 типов), магниевой и титановой основах (по 1 типу).

Важнейшим показателем качества материалов авиационного назначения является их структура. В период с 2009 по 2015 год во ФГУП «ВИАМ» разработано 18 типов СО состава и структуры монокристаллических интерметаллидных композиций, жаропрочных никелевых, титановых, алюминиевых и магниевых сплавов, упрочняющих наноструктурированных и нанослойных покрытий, полимерных композиционных материалов и другие категории стандартных образцов предприятия (СОП).

Одной из основных задач ФГУП «ВИАМ» как организации, назначенной в структуру Государственной службы стандартных образцов (ГССО), является разработка стандартных образцов материалов авиационного назначения и обеспечение ими предприятий и научно-исследовательских организаций отрасли. В выполнении данной задачи существует целый ряд проблемных вопросов технологического, организационно-методического и финансово-экономического плана.

Технологические проблемы

Технологические проблемы разработки и выпуска СО связаны с выбором подходящих технологий изготовления СО с учетом планируемого химического состава, особенностей материала СО, имеющегося технологического оборудования и требуемого объема выпуска СО.

Основными задачами, решаемыми при разработке СО, являются обеспечение достаточной внутриэкземплярной и межэкземплярной однородности СО по химическому составу и металлографической структуре и обеспечение высокого выхода годных экземпляров СО. Для решения этих задач во ФГУП «ВИАМ» применяются следующие приемы.

На этапе планирования химического состава СО и выбора композиции элементов учитывают как свойства исходного материала (возможность образования в нем обособленных зон, отличающихся содержанием легирующих элементов или примесей), так и технологические особенности выплавки и обработки материала СО.

Для снижения фонового влияния основного элемента основы на результаты спектральных измерений его содержание во всех экземплярах СО комплекта планируют приблизительно на одном уровне.

Для исключения возможности выделения относительно крупных обособленных зон, существенно отличающихся по составу, структуре и свойствам, варьируют

содержание легирующих элементов и примесей в разных экземплярах СО комплекта.

Особенно важно это учитывать при планировании химического состава комплектов СО, применяемых для градуировки аналитического оборудования. В части экземпляров СО такого комплекта содержание легирующих элементов и примесей находится за пределами границ диапазонов содержаний, установленных НД на марку сплава [5], что приводит к отличиям их химического состава от типичного для проб [6] и может приводить к получению неоднородных по химическому составу и/или структуре экземпляров СО.

Изготовление СО (выплавка, термическая и/или термомеханическая обработка и др.) проводится по технологиям, максимально близким к технологиям изготовления полуфабрикатов и изделий из сплавов. Это позволяет получать СО, близкие по структуре к материалу полуфабрикатов и готовых изделий, что уменьшает неопределенность количественного определения элементов спектральными методами в продукции из этих материалов [7].

Наиболее сложной в технологическом плане является разработка СО жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС). Эти сплавы широко используются в двигателестроении. Из них изготавливают сопловые и рабочие лопатки газотурбинных двигателей и установок, испытывающие при работе огромные тепловые и силовые нагрузки [8]. Поэтому к данным сплавам предъявляются повышенные требования по химическому составу (узкие интервалы легирования, низкое содержание вредных примесей).

По химическому составу ЖНС представляют собой сложнолегированные системы. При производстве этих материалов необходимо контролировать содержание до 15 легирующих и микролегирующих элементов, газообразующих примесей (серы, углерода, азота, кислорода), а также вредных примесей: Ag, Cu, Zn, Sn, Sb, Te, Pb, Bi, P и др., находящихся в сплавах в разных диапазонах концентраций: от 0,00001 до 0,001 % (масс.) для Pb и Bi, от 0,0001 до 0,02 % (масс.) для азота, кислорода и серы и от 0,01 до 10–15 % (масс.) для легирующих элементов. Поэтому проведение контроля химического состава ЖНС является сложной аналитической задачей, осуществляемой с применением различных методов (методик) инструментального анализа: атомной эмиссии с искровым возбуждением, рентгенофлуоресцентной спектрометрии, кондуктометрии, ИК-спектрометрии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и др., для градуировки которых нужны СО различных типов. СО состава ЖНС для спектрального анализа наиболее востребованы предприятиями отрасли.



Рис. 3. Вакуумно-индукционная печь для выплавки ЖНС производства фирмы «ALD» (Германия)

Выплавка материала СО ЖНС проводится в вакуумно-индукционных печах (рис. 3) с последующей заливкой в стальные трубы.

При этом в материале СО возможно образование усадочных раковин, а также пор размером до 150 мкм (рис. 5–6), что может привести к существенному снижению выхода годного материала.

С целью получения плотного и бездефектного материала СО (рис. 7) проводится его переплав методом направленной кристаллизации. Для этого заготовку материала СО расплавляют и заливают в литейную форму, которую с контролируемой скоростью (2–30 мм/мин) опускают в расплавленный алюминий. При таком способе обработки материал СО ЖНС кристаллизуется без образования литейных пор.

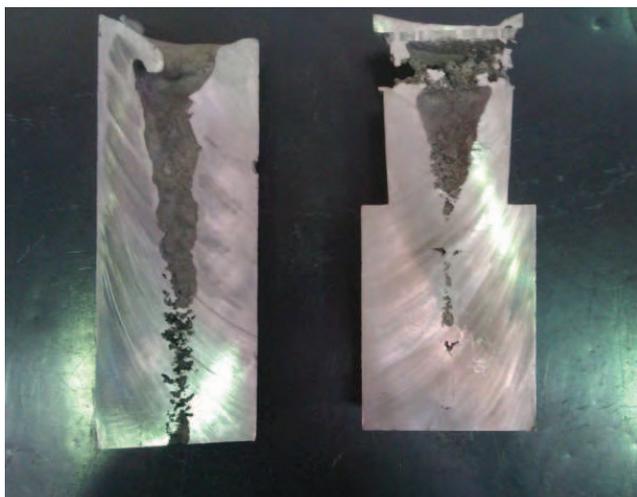


Рис. 5. Усадочные раковины в жаропрочном никелевом сплаве [8]



Рис. 4. Установка высокоградиентной направленной кристаллизации УВНК-9

Последующей механической обработкой (обточкой, резкой и шлифованием) полученных заготовок (рис. 8) получают экземпляры СО заданных размеров.

Применение вышеприведенной технологии обеспечивает однородность распределения легирующих элементов и макропримесей в материале СО (не более 1,5 % относительных), отсутствие усадочных раковин, рыхлот и пористости в объеме заготовок. Выход годных экземпляров СО ЖНС удалось повысить с 10–20 % до 70–85 % [9, 10].

При разработке и выпуске из производства СО состава сплавов на алюминиевой, титановой и магниевой основах приходится решать аналогичные проблемы, связанные с выбором технологий изготовления материала СО, так как однородность исходных заготовок



Рис. 6. Область пористости в отливке жаропрочного никелевого сплава [8]

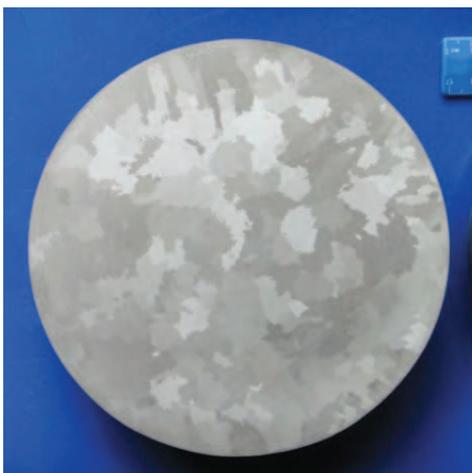


Рис. 7. Макроструктура материала СО ЖНС [9]



Рис. 8. Заготовки СО ЖНС, полученные методом направленной кристаллизации [9]

для СО также зависит от физико-химических и теплофизических условий формирования слитков металлов в процессе разлива. Для снижения неоднородности материала СО применяют различные технологические приемы обработки слитков заготовок СО. Например, при изготовлении СО алюминиевых деформируемых сплавов проводят гомогенизационный отжиг полученных слитков, их деформацию (прессование), а также закалку и старение изготовленных прутков [11].

Организационно-методические проблемы

Организационно-методические проблемы разработки и выпуска СО связаны с формированием программ выпуска СО, сокращением сроков разработки СО и оптимизацией номенклатуры СО.

Формирование программ выпуска СО авиационных материалов сотрудниками ФГУП «ВИАМ» проводится на основе анализа потребностей предприятий (мониторинга) и возможностей разработчика по выпуску СО в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [6]. При формировании программ было бы целесообразно учитывать и результаты прогноза потребностей потребителей в СО конкретного типа.

Однако в данном вопросе имеется ряд проблем:

- система мониторинга потребностей в СО закреплена за федеральными органами исполнительной власти [12], однако порядок мониторинга не регламентирован;
- отсутствуют методики прогнозирования потребностей в СО.

Это препятствует получению производителями СО объективной картины потребностей промышленности

в СО различных типов и планированию деятельности по выпуску СО.

ФГУП «ВИАМ» как организацией, назначенной в структуру ГССО, в 2015 году был проведен опрос предприятий отрасли с целью выявления их потребностей в СО. Всего прислано заявок на поставку 228 комплектов СО на 68 марок сплавов и сталей. В обобщенном виде потребности предприятий отрасли в СО состава сплавов и сталей на период до 2020 года представлены в табл. 1.

Анализ данных, представленных в табл. 1, свидетельствует о достаточно высокой востребованности СО серийно выпускаемых сплавов (базовых) и низкой востребованности перспективных сплавов (ВЖМ 4, ВЖМ 5У, ВЖ 172 и др.).

На основании проведенного мониторинга можно сделать вывод о том, что для обеспечения предприятия отрасли необходимо организовать выпуск широкой номенклатуры СО состава сплавов авиационного назначения в достаточно ограниченных объемах выпускаемых партий.

Рассмотрим, как соотносятся технические возможности ФГУП «ВИАМ» по разработке и выпуску из производства СО с потребностями потребителей.

Технические возможности производителя СО (объемы выпускаемых партий и количество выпускаемых типов СО в год) обусловлены применяемыми технологиями изготовления СО и определяются продолжительностью производственного цикла по разработке, изготовлению и аттестации (проведению испытаний в целях утверждения типа) СО. При выпуске повторных партий СО продолжительность производственного цикла сокращается за счет исключения этапов разработки СО и проведения испытаний в целях утверждения типа.

Таблица 1

Потребности предприятий отрасли на период до 2020 года в СО состава сплавов и сталей утвержденных типов

№ п/п	Марка сплава	Потребности в СО, компл.	№ п/п	Марка сплава	Потребности в СО, компл.	№ п/п	Марка сплава	Потребности в СО, компл.
СО сплавов на никелевой основе			СО сплавов на титановой основе			СО сплавов на алюминиевой основе		
1	ЭИ698	4	12	BT6	4	21	Д16	9
2	ВЖЛ14	7	13	OT4	6	22	Д1	7
3	ЖС6-Ф	7	14	BT1-0	6	23	В95пч	4
4	ВЖМ4-ВИ	2	15	BT18У	3	24	ВСДП-11	2
5	ВЖМ5У	2	16	BT20	3	25	В93	4 (комплекта)
6	ВЖ172	2	17	OT4-1	3	26	1420	4
7	ВЖ175	1				27	AK12, AK9ч, AK7ч	17
8	ВКНА-25	1	СО сплавов на магниевой основе			28	1341	3
9	ВКНА-1В	1	18	МЛ10	2	29	1370	3
СО сталей			19	МЛ9	2	30	1441	3
10	ВНЛ3	1	20	МЛ5ч	9	31	1933	3
11	ЭИ961	1						

Таблица 2

Технические возможности ФГУП «ВИАМ» по разработке и выпуску из производства СО состава сплавов авиационного назначения утвержденных типов

Наименование характеристик	Ед. измерения	Жаропрочные сплавы	Сплавы на Al, Mg, Ti основах
Объемы выпускаемых партий СО	комплекты	8–12	от 16 до 20
Длительность цикла при разработке и выпуске из производства новых типов СО	месяцы	12–24	10–14
Длительность производственного цикла при выпуске повторных партий СО	месяцы	6–8	5–7
Количество разрабатываемых новых типов СО	типов/год	2–4	2–4
Выпуск повторных партий СО с учетом разработки новых типов СО	типов/год	2–3 (до 36 компл.)	2–3 (до 80 компл.)
Выпуск только повторных партий СО	типов/год	4–5 (до 60 компл.)	4–6 (до 120 компл.)

Технические возможности ФГУП «ВИАМ» по разработке и выпуску из производства СО состава сплавов авиационного назначения утвержденных типов (ГСО) для спектрального анализа представлены в табл. 2.

Анализ данных, представленных в табл. 2, свидетельствует о том, что по объему выпускаемых партий СО состава ЖНС (до 12 комплектов) и легких сплавов (до 20 комплектов) ФГУП «ВИАМ» в состоянии удовлетворить потребности предприятий на период 5–10 и более лет. По числу разрабатываемых типов СО (до 7–8 в год) возможности ограничены, и для обеспечения стандартными образцами утвержденных типов (ГСО) методик измерений химического состава спектральными методами только базовых марок сплавов потребуется значительный период времени. Поэтому необходим поиск путей решения данной проблемы.

Наиболее длительным по времени этапом разработки СО состава сплавов авиационного назначения является этап проведения испытаний СО в целях утверждения типа. Поэтому одним из ресурсов по наращиванию количества разрабатываемых типов СО является сокращение длительности проведения вышеуказанных испытаний. До 2007 года определение метрологических характеристик СО авиационных материалов проводилось методом межлабораторной аттестации с привлечением до 10 квалифицированных лабораторий. Продолжительность проведения испытаний составляла до двух лет. В настоящее время испытания СО сплавов авиационного назначения в целях утверждения типа проводятся в ФГУП «ВНИИОФИ» (Москва) по методикам, основанным на применении государственного первичного эталона единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе спектральных методов ГЭТ 196–2011¹ [13] с учетом требований ГОСТ Р 8.694–2010 [14]. Это позволило существенно сократить сроки проведения испытаний, снизить значения неопределенностей аттестованных значений массовой доли элементов в СО и обеспечить метрологическую прослеживаемость СО авиационных материалов к государственному первичному эталону.

Выше было отмечено, что для создания изделий авиационной техники нового поколения необходимы новые материалы с кардинально улучшенным комплексом служебных характеристик. Для контроля качества новых материалов и полуфабрикатов в промышленном

производстве потребуются СО новых типов (не только состава, но и свойств (физико-химических и др.), включая параметры структуры).

Так, для увеличения ресурса лопаток турбины и компрессора ГТД применяются защитные упрочняющие покрытия. Контроль качества получаемых наноструктурированных покрытий (преимущественно многослойных) и технологий их получения проводится методами электронной микроскопии и фазового анализа. Для проведения такого контроля необходимы СО состава и толщины покрытий.

В настоящее время в ФГУП «ВИАМ» весьма активно разрабатываются порошковые материалы и аддитивные технологии для получения деталей ответственного назначения ГТД методом селективного лазерного сплавления металлопорошковых композиций с последующей термической обработкой. В процессе производства металлопорошковых композиций для аддитивных технологий необходимо контролировать гранулометрический состав, фракционный состав, морфологию гранул, технологические свойства (сыпучесть и пр.), химический состав, а также содержание примесей и газов. В ФГУП «ВИАМ» разработаны технологии и нормативная документация на 26 порошков отечественных марок (припои и порошки для аддитивных технологий), для которых необходима полная квалификация по всему спектру характеристик. Для проведения такой квалификации необходим целый спектр СО различных типов.

Таким образом, уже в ближайшей перспективе потребуется существенное расширение номенклатуры СО для проведения всесторонней оценки качества авиационных материалов и полуфабрикатов. Это может привести к существенному росту временных, финансовых и материальных затрат на разработку и выпуск из производства СО новых типов. Вследствие ограниченности данных ресурсов остро встает вопрос о необходимости оптимизации номенклатуры СО авиационных материалов.

Оптимизация номенклатуры СО авиационных материалов может быть проведена по следующим критериям:

- по группам материалов, объединенным по матрице, химическому составу и/или физическим, физико-химическим свойствам, для метрологического обеспечения измерений показателей которых может быть создан один или несколько стандартных образцов;
- назначению планируемых к созданию СО (градировка, контроль точности измерений);
- экономическим аспектам, связанным с разработкой, выпуском из производства СО;
- стоимости стандартных образцов (с учетом количества аттестуемых характеристик) [15].

¹ ГЭТ 196–2015 ГПЭ единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе спектральных методов // Росстандарт [сайт]. URL: www.fundmetrology.ru/08_standard/2list.aspx?z=&n=196&r=

Сложность химического состава материалов авиационного назначения, применение в составе различных марок сплавов легирующих элементов, находящихся в разных интервалах содержаний, различие их фазового состава, структурные и морфологические особенности обуславливают сложность или невозможность изготовления объединенных комплектов СО на разные марки сплавов даже в пределах одной группы материалов.

Примером успешного решения этой проблемы являются разработка комплекта отраслевых СО (ОСО) для спектрального анализа жаропрочных никелевых сплавов ЖС32, ЖС30, ЖС26, ЖС26У, комплекта СО утвержденного типа (ГСО 10474–2014¹) сплавов ЖС6У, ЖС6К, объединенных по группам материалов.

Другим примером является разработка комплекта СО состава жаропрочного никелевого сплава типа ВЖМ (ГСО 10492–2014²) (рис. 9), аттестованного на содержание вредных примесей и редкоземельных элементов [16] и позволяющего проводить аттестацию методик измерений, контроль точности измерений и градуировку средств измерений по содержанию редкоземельных элементов и вредных примесей для целой группы жаропрочных сплавов на никелевой основе, а не только для конкретной марки ЖНС.

Немаловажное значение имеют финансово-экономические проблемы разработки и выпуска СО авиационных материалов. Разработка СО проводится в рамках тематических работ и по хозяйственным договорам с конкретными предприятиями-заказчиками. СО разрабатываются по тематике института в тех случаях, когда тематическая работа по созданию нового сплава заканчивается разработкой паспорта и предполагается необходимость выполнения контроля химического состава нового сплава спектральным методом в институте или на предприятиях, которым ФГУП «ВИАМ» предполагает передачу технологии на производство нового сплава. Такие работы проводились в 2005–2015 годах в рамках госконтрактов, заключенных с Минпромторгом России (Москва). Выпуск из производства СО, предназначенных для реализации предприятиям промышленности, проводится из собственных средств института. Ограниченность объема выпуска СО, **высокая стоимость** затрат



Рис. 9. Комплект утвержденного типа стандартных образцов жаропрочного никелевого сплава типа ВЖМ ГСО 10492–2014, аттестованных на содержание вредных примесей и РЗМ

на материалы (для жаропрочных сплавов), проведение предварительных исследований материала СО и **проведение испытаний в целях утверждения типа приводят к относительно высокой себестоимости производства СО.**

Длительность цикла реализации даже небольших по объему (10–20 комплектов) партий СО превышает 5–10 лет. В связи с этим актуальной является проблема повышения рентабельности производства СО авиационных материалов.

Выводы

1. Для материалов нового поколения необходима разработка новых типов СО с учетом требований контроля качества конечной продукции (состав, структура, свойства).

2. Основными проблемами разработки и производства СО материалов, рекомендованных к применению в изделиях авиационной техники, являются обширная номенклатура материалов, необходимость обеспечения высокого уровня качества СО при производстве (однородность и др.), низкий выход годного материала, малые объемы выпускаемых партий СО в производстве, длительный цикл реализации, низкая рентабельность производства.

3. Для решения задачи обеспечения производства российской авиационной техники современными СО отечественной разработки необходимо разработать и сформировать оптимальную номенклатуру СО авиационных материалов, учитывающую техническую оснащенность аналитическим оборудованием потребителей СО, перспективы использования в конструкции изделий авиационной техники материалов нового поколения, применение нового аналитического и исследователь-

¹ ГСО 10474–2014 СО состава сплавов типа ЖС6У, ЖС6К (комплект) // Росстандарт [сайт]. URL: http://www.fundmetrology.ru/09_st_obr/view.aspx?regn=%D0%93%D0%A1%D0%9E%2010474-2014.

² ГСО 10492–2014 СО состава жаропрочного никелевого сплава типа ВЖМ (комплект) // Росстандарт [сайт]. URL: www.fundmetrology.ru/09_st_obr/view.aspx?regn=%D0%93%D0%A1%D0%9E%2010492-2014.

ского оборудования, используемого для проведения исследований и контроля качества материалов.

4. Разработку СО авиационных материалов наиболее целесообразно проводить на основе программ создания

СО в Российской Федерации, предусматривающих увязку номенклатуры, выделяемых финансовых ресурсов, календарного плана разработки и выпуска СО.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. № 5. С. 8–18.
3. Антипов В.В. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 157–167.
4. Сухенко К.А. Спектральный анализ сталей и сплавов. М.: Государственное изд-во оборонной промышленности. 1954. 260 с.
5. Разработка стандартных образцов состава сплавов авиационного назначения / А.Ф. Летов [и др.] // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 393–398.
6. Шаевич А.Б. Стандартные образцы для аналитических целей. М.: Химия, 1987. 184 с.
7. Летов А.Ф., Карачевцев Ф.Н. Опыт разработки стандартных образцов авиационных сплавов // Мир измерений. 2012. № 8. С. 31–35.
8. Каблов Е.Н. Разработки ВИАМ для газотурбинных двигателей и установок // Крылья Родины. 2010. № 4. С. 31–33.
9. Колядов Е.В., Герасимов В.В., Висик Е.М. О получении образцов для экспресс-анализа химсостава жаропрочных сплавов // Металлургия машиностроения. 2012. № 3. С. 27–29.
10. Получение стандартных образцов для экспресс-анализа жаропрочных никелевых сплавов / Ф.Н. Карачевцев [и др.] // Металлургия машиностроения. 2013. № 6. С. 18–19.
11. Разработка стандартных образцов состава авиационных сплавов / Ф.Н. Карачевцев [и др.] // Стандартные образцы. 2013. № 4. С. 30–34.
12. Об утверждении Положения о Государственной службе стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов: Постановление Правительства Рос. Федерации от 2 ноября 2009 г. № 884 // Федер. информац. фонд по обеспеч. единства измерений [сайт]. URL: http://www.fundmetrology.ru/depository/01_npa/pp884_02112009.pdf (дата обращения: 20.05.2015).
13. Аттестация стандартных образцов состава сложнотермически стабилизированных сплавов с применением эталона / Е.Н. Каблов [и др.] // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 2. С. 9–11.
14. ГОСТ Р 8.694–2010 ГСИ. Стандартные образцы материалов (веществ). Общие и статистические принципы определения метрологических характеристик (Руководство ISO 35:2006, MOD). М.: Стандартинформ, 2012. 78 с.
15. Оптимизация номенклатуры стандартных образцов, необходимая для метрологического обеспечения технических регламентов РФ и Таможенного союза / Е.В. Осинцева [и др.] // Стандартные образцы в измерениях и технологиях: сб. трудов II Междунар. науч. конф. (Екатеринбург, 14–18 сент. 2015 г.). Екатеринбург, 2015. Ч. Ru. 254 с. С. 66–68.
16. Карачевцев Ф.Н. Разработка стандартных образцов жаропрочных никелевых сплавов для определения вредных примесей и редкоземельных элементов спектральными методами // Стандартные образцы. 2015. № 4. С. 46–55.

The article is received: 01.12.2016

The article is corrected: 18.02.2017

DOI 10.20915/2077-1177-2016-0-4-31-41

УДК 006.9:53.089.68:68

PROBLEMATIC ISSUES OF THE DEVELOPMENT OF REFERENCE MATERIALS OF COMPOSITION AND PROPERTIES FOR AIRCRAFT INDUSTRY

A.N. Lutsenko, A.F. Letov, F.N. Karachevtsev

FSUE All-Russian scientific research institute of aviation materials (VIAM)
17, Radio st., Moscow, 105005, Russian Federation
e-mail: letovaf@viam.ru

Considered problematic issues of the development of reference materials (RMs) for aircraft industry. The focus is on the methods for choosing the RM chemical composition and metallographic structure, and the use of different technologies for their production with high intra- and between item homogeneity. Considered problematic issues of the RM program, shows the need to expand and optimize the range of RMs. The present work is performed within framework of the integrated research concept 2.1. "Fundamentally oriented research" ("Strategic concepts of development of materials and technologies for their processing for the period up to 2030").

Key words: reference materials, heat-resistant nickel alloys, materials for aircraft industry, composite materials.

✓ **When quoting reference:** A.N. Lutsenko, A.F. Letov, F.N. Karachevtsev. Problematic issues of the development of reference materials of composition and properties for aircraft industry. *Standartnye obrazcy – Reference materials*, 2016, no. 4, pp. 31–41, DOI 10.20915/2077-1177-2016-0-4-31-41. (In Russian).

REFERENCES

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravleniia razvitiia materialov i tehnologij ikh pererabotki na period do 2030 goda [Strategical areas of developing materials and their processing technologies for the period up to 2030]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii – Aviation Materials and Technologies*, 2012, no. 5, pp. 7–17. (In Russian).
2. Kablov E.N. Iz chego sdelat' budushchee? Materialy novogo pokoleniia, tekhnologii ikh sozdaniia i pererabotki – osnova innovatsij [What should the future be made of? Next generation materials, technologies of their production and processing – the basis for innovations]. *Krylia Rodiny – Wings of the Motherland*, 2016, no. 5, pp. 8–18.
3. Antipov V.V. Strategii razvitiia titanovykh, magnievykh, berrilievyykh i aliuminievykh splavov [Strategies of developing titanium, magnesium, beryllium and aluminium alloys]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii – Aviation Materials and Technologies*, 2012, no. 5, pp. 157–167. (In Russian).
4. Sukhenko K.A. *Spektralnyy analiz stalej i splavov* [Spectral analysis of steels and alloys.]. Moscow, Gosudarstvennoe izdatel'stvo oboronnoj promyshlennosti [The State Publishing House of the Defense industry], 1954, 260 p.
5. Letov A.F., Karachevtsev F.N., Gundobin N.V., Titov V.I. Razrabotka standartnykh obraztsov sostava splavov aviatsionnogo naznacheniiia [Development of Standard Alloy Composition Specimens of Aircraft Application]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii – Aviation Materials and Technologies*, 2012, no. 5, pp. 393–398. (In Russian).
6. Shaevich A.B. *Standartnye obraztsy dlia analiticheskikh tselej* [Reference materials for analytical purposes]. Moscow, Chemistry Publ., 1987, 184 p. (In Russian).
7. Letov A.F., Karachevtsev F.N. Opyt razrabotki standartnykh obraztsov aviatsionnykh splavov [Experience of development of reference materials of aircraft alloys]. *Mir izmerenij – Measurement World*, 2012, no. 8, pp. 31–35. (In Russian).
8. Kablov E.N. Razrabotka VIAM dlia gazoturbinykh dvigatelej i ustanovok [VIAM developments for gas turbine engines and units]. *Krylia Rodiny – Wings of the Motherland*, 2010, no. 4, pp. 31–33.
9. Kolyadov Y.V., Gerasimov V.V., Visik Y.M. O poluchenii obraztsov dlia èkspress-analiza khimsostava zharoprochnykh splavov [Making Specimens for Rapid Analysis of Chemical Composition of High-Temperature Alloys]. *Metallurgiiia mashinostroeniia – Metallurgy of Machinery Building*, 2012, no. 3, pp. 27–29. (In Russian).
10. Karachevtsev F.N., Rassohina L.I., Gerasimov V.V., Visik E.M. Poluchenie standartnykh obraztsov dlia èkspress-analiza zharoprochnykh nikelovykh splavov [Production of certified reference materials for express analysis of heat-resistant nickel alloys]. *Metallurgiiia mashinostroyeniya – Metallurgy of Machinery Building*, 2013, no. 6, pp. 18–19. (In Russian).
11. Karachevtsev F.N., Letov A.F., Protsenko O.M., Yakimova M.S. Razrabotka standartnykh obraztsov sostava aviatsionnykh splavov [Development of certified reference materials for composition of aviation alloys]. *Standartnye obrazcy – Reference materials*, 2013, No. 4, pp. 30–34. (In Russian).
12. Decree of the Government of the Russian Federation No 884 of 02/11/2009 "On statement approval for State Service of Reference Materials for Composition and Properties of Substances and Materials". *Federal'nyy informatsionnyy fond po obespecheniiu edinstva izmerenij* [site]. Moscow. (In Russian).
13. Kablov E.N., Morozov G.A., Krutikov V.N., Muravskaya N.P. Attestatsiia standartnykh obraztsov sostava slozhnolegirovannykh splavov s primeneniem ètalona [Certification of reference materials of compound of complex alloys using a standard]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii – Aviation Materials and Technologies*, 2012, no. 2, pp. 9–11. (In Russian).

14. GOST R 8.694–2010 (ISO 35:2006, MOD) State system for ensuring the uniformity of measurements. Standard reference materials (substances). General statistical principles of determination of metrological characteristics. Moscow, Standartinform Publ., 2012, 78 p. (In Russian).
15. Osintseva E.V., Khismatullin Sh.K., Kremleva O.N., Studenok V.V. Optimizatsiia nomenklatury standartnykh obraztsov, neobkhodimaia dlia metrologicheskogo obespecheniia technicheskikh reglamentov RF i Tamozhennogo soiuza [Optimization of reference material list necessary for metrological assurance of technical regulations of the Russian Federation and the Custom Union]. *Standartnye obraztsy v izmereniiakh i tekhnologiiakh: sbornik trudov II Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii – Proc. IIth International Scientific Conference «Reference Materials in Measurement and Technology»*. Ekaterinburg, 14–18 September 2015. FGUP «Ural Scientific Research Institute of Metrology», 2015, vol. Ru, 66–68 pp. (In Russian).
16. Karachevtsev F.N. Razrabotka standartnykh obraztsov zharoprochnykh nikelovykh splavov dlia opredeleniia vrednykh primesej i redkozemel'nykh elementov spektralnymi metodami [Development of certified reference materials of heat resisting nickel alloys for determination of detrimental impurities and rare earth elements by spectral methods]. *Standartnye obraztsy – Reference materials*, 2015, no. 4, pp. 46–55. (In Russian).