

Научная статья

УДК 543.51; 669.1

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-10-140-148

## РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ СОСТАВА СПЛАВОВ В НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» – ВИАМ

Ф.Н. Карачевцев<sup>1</sup>, С.Г. Ерошкин<sup>1</sup>, М.А. Горбовец<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

**Аннотация.** Приведены результаты производства стандартных образцов состава сплавов на различных основах для спектрального анализа, а также перечень стандартных образцов, разработанных за последние 10 лет. Показаны технологии изготовления однородных по химическому составу стандартных образцов, обеспечивающие требования, предъявляемые к материалу стандартных образцов. Представлены возможности НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ по разработке и изготовлению стандартных образцов, обозначены направления развития их производства.

**Ключевые слова:** стандартный образец, алюминиевый сплав, никелевый сплав, титановый сплав, магниевый сплав, спектроскопия, технология изготовления, утверждение типа, неопределенность

**Для цитирования:** Карачевцев Ф.Н., Ерошкин С.Г., Горбовец М.А. Развитие производства стандартных образцов состава сплавов в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ // Труды ВИАМ. 2022. № 10 (116). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-10-140-148.

Scientific article

## DEVELOPMENT OF THE PRODUCTION OF STANDARD SAMPLES OF THE COMPOSITION OF ALLOYS AT THE NATIONAL RESEARCH CENTER «KURCHATOV INSTITUTE» – VIAM

F.N. Karachevtsev<sup>1</sup>, S.G. Eroshkin<sup>1</sup>, M.A. Gorbovets<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

**Abstract.** The results of the production of standard samples of the composition of alloys on various bases for spectral analysis are given, as well as a list of standard samples developed over the past 10 years. The technologies for manufacturing standard samples homogeneous in chemical composition are shown, which provide the requirements for the material of standard samples. The capabilities of the National Research Center "Kurchatov Institute" - VIAM for the development and production of reference materials are presented, directions for the development of the production of reference materials are indicated.

**Keywords:** reference material, aluminum alloy, nickel alloy, titanium alloy, magnesium alloy, spectroscopy, manufacturing technology, type approval, uncertainty

**For citation:** Karachevtsev F.N., Eroshkin S.G., Gorbovets M.A. Development of the production of standard samples of the composition of alloys at the National Research Center «Kurchatov Institute» – VIAM. *Trudy VIAM*, 2022, no. 10 (116), paper no. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-10-140-148.

## Введение

Стандартные образцы (СО) состава металлов и сплавов активно используются при метрологическом обеспечении измерений. Они предназначены для воспроизведения, хранения и передачи значений величин, характеризующих состав и свойства веществ (материалов). На металлургических предприятиях СО применяются для градуировки оптико-эмиссионных и рентгенофлуоресцентных спектрометров при проведении экспресс-анализа сплавов в ходе плавки для своевременной корректировки состава [1–4].

Государственные стандартные образцы (ГСО) утвержденного типа – СО, тип которых утверждает в установленном порядке Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

Стандартные образцы предприятий (СОП) – СО, утверждаемые на уровне организаций, корпораций, юридических лиц.

Отраслевые стандартные образцы (ОСО) – СО, утверждаемые уполномоченными в данной отрасли организациями.

В сферу государственного регулирования (законодательной метрологии) входят:

– измерения параметров материалов и веществ, поставляемых в вооруженные силы РФ и создаваемых по их требованиям;

– осуществление деятельности в области обороны и безопасности государства и др.

Измерения, находящиеся в сфере государственного регулирования, должны проводиться с использованием СО утвержденного типа и на поверенном оборудовании [5].

Таким образом, весьма актуальной является задача разработки и производства СО состава сплавов для обеспечения контроля их химического состава.

## Материалы и методы

Объектом исследования в данной работе являлись материалы СО для спектрального анализа сплавов на никелевой, алюминиевой, титановой, магниевой и железной основах.

## Результаты и обсуждение

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ (далее – ВИАМ) еще в 1940-х гг. активно проводилась разработка СО для спектрального анализа. До 1991 г. было выпущено более 300 типов СО, многие из которых успешно применяются на предприятиях отрасли и в настоящее время [6].

При установлении метрологических характеристик проводили межлабораторные испытания с привлечением научно-исследовательских институтов и химико-аналитических лабораторий, которые обладали большим опытом проведения таких работ. При этом период времени с момента изготовления материала СО до получения паспорта могло составлять от 1,5 до 2 лет.

С 1991 г. разработка новых СО и их производство в РФ и странах СНГ были существенно сокращены, а также утрачены технологии их производства [7]. После 2002 г. в ВИАМ началось восстановление разработки СО для спектрального анализа состава авиационных сплавов.

В период с 2008 по 2021 г. в ВИАМ были разработаны и выпущены 36 комплектов СО утвержденного типа сплавов на различных основах, а также 9 комплектов СО категории ОСО и более 70 комплектов СО жаропрочных никелевых сплавов категории СОП (рис. 1). Перечень разработанных за последние 8 лет ГСО приведен в таблице.

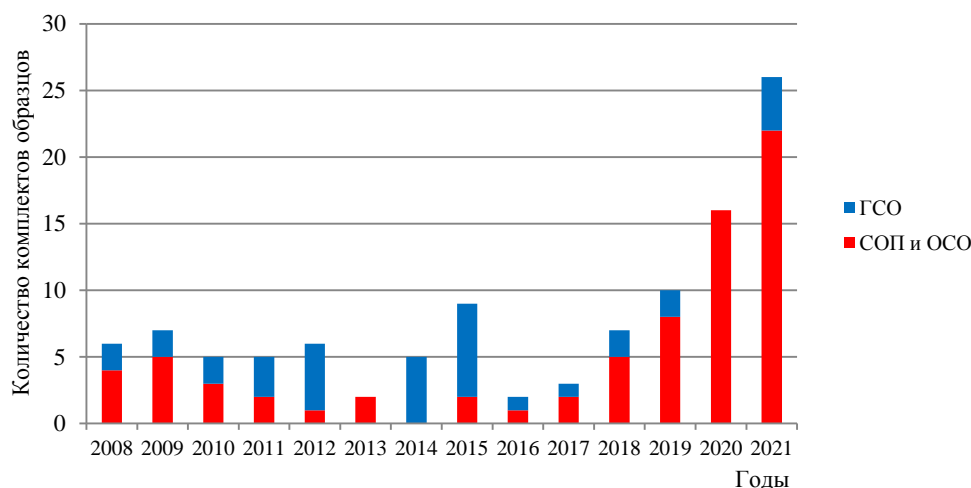


Рис. 1. Динамика выпуска стандартных образцов с 2008 по 2021 г.

**Перечень государственных стандартных образцов (ГСО),  
выпущенных в ВИАМ с 2013 по 2021 г.**

| Сплав                 | Номер ГСО  | Основа | Аттестованные элементы   |
|-----------------------|------------|--------|--|
| ЖС6У,<br>ЖС6К         | 10474–2014 | Ni     | Al, Cr, Co, W, Mo, Nb, Ti, C,<br>Si, Mn, Fe, P, B, Zr, S, Hf, V  |
| Типа ВЖМ<br>(примеси) | 10492–2014 | Ni     | P, V, Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, As, Se, Zr, Nb, Ru, Ag, Cd, Sn,<br>Sb, Te, Hf, Tl, Pb, Bi, In, S, Si, B, Mg, Ca, Sc, Y, La, Ce, Pr,<br>Nd, Dy, Gd, Ho, Er, Si, B |
| ВЖМ7                  | 10624–2015 | Ni     | Al, Cr, Co, W, Mo, Ta, Re, Ti, Si, Mn, Fe, P, B, Ce, La  |
| ВЖМ8                  | 10625–2015 | Ni     | Al, Cr, Mo, W, Ta, Co, Re, Ru, Si, Mn, Fe, P, B  |
| ВЖЛ21                 | 10626–2015 | Ni     | Al, Cr, Co, W, Mo, Ta, Ti, La, Si, Mn, Fe, P, Zr, B  |
| ВИН3                  | 10627–2015 | Ni     | Al, Cr, Mo, W, Ta, Co, Re, La, Si, Mn, Fe, P, Ce   |
| В-1167                | 10489–2014 | Al     | Cu, Mg, Mn, Zr, Sc, Ag, Ca, Ti, Ni, Fe, Si   |
| В-1461                | 10490–2014 | Al     | Li, Mg, Cu, Mn, Zn, Zr, Be,<br>Sc, Ni, Cr, Fe, Ca, Si, Ti, Ce, Na  |
| В-1469                | 10491–2014 | Al     | Li, Mg, Cu, Mn, Zr, Sc, Ag, Fe, Si   |
| В-1480                | 10594–2015 | Al     | Li, Mg, Cu, Ag, Zn, Ca, Mn, Zr, Sc, Ti, Ce, Fe, Si   |
| В-1481                | 10595–2015 | Al     | Li, Mg, Cu, Ag, Zr, Zn, Ti, Mn, Sc, Fe, Si   |
| В-1977                | 10596–2015 | Al     | Zn, Mg, Cu, Zr, Mn, Fe, Si, Cr, Be, Ti, B  |
| Д16                   | 10875–2017 | Al     | Cu, Mg, Mn, Ga, Zn, Fe, Si, Ti, Cr, Ni, Zr   |
| Д1, Д16               | 11024–2018 | Al     | Fe, Si, Mn, Ni, Ti, Cu, Mg, Zn, Zr, Cr, Be   |
| ВСДП-16               | 11696–2021 | Al     | Ni, Y, Fe  |
| ВМЛ20                 | 11137–2018 | Mg     | Zn, Zr, Cd, Bi, Nb, Ti, Al, Ni, Cu, Fe, Si   |
| ВМД16                 | 11422–2019 | Mg     | Y, Zr, Nd, La, Zn, Cd, Ca, Ni, Cu, Fe, Si  |
| МЛ19                  | 11695–2021 | Mg     | Y, Nd, Zn, Zr, Al, Be, Cu, Fe, Ni, Si  |
| ВТ46                  | 11421–2019 | Ti     | Al, Sn, Zr, Mo, V, Nb, Fe, Si, C   |

В ВИАМ имеется собственная современная высокотехнологическая производственная база, с использованием которой разработаны технологии изготовления материалов СО [8]. Например, при изготовлении СО из жаропрочных никелевых сплавов выплавку материала СО производили в вакуумных индукционных печах. Для получения плотного материала СО без пор, раковин и трещин, проводили переплав по технологии высокоградиентной направленной кристаллизации на установках типа УВНК-9 [9, 10]. Данная технология обеспечила высокую степень однородности материала СО – не более 1 % (по массе) для легирующих элементов.

Отдельной задачей, которую удалось успешно решить, стала разработка и изготовление СО состава жаропрочного никелевого сплава для контроля массовой доли вредных примесей легкоплавких и редкоземельных элементов (РЗЭ), а также прочих примесей [11, 12]. Примеси легкоплавких элементов Zn, Ag, Cd, Sn, Sb, Tl, Pb, Bi с содержанием от 0,0001 до 0,005 % (по массе) вводили в никелевый сплав через предварительно изготовленную многокомпонентную лигатуру на основе алюминия с содержанием элементов от 0,05 до 0,1 % (по массе). Элементы As, Se, Te вводили через ферросплавы с содержанием 10 % (по массе), которые готовили отдельно путем спекания с карбонильным железом.

В вакуумной индукционной печи типа ВИАМ-2002 выплавляли материал СО – в тигель закладывали шихту из легирующих элементов Ni, Cr, Co, W, Nb, Ta, Re, Al. После ее расплавления вводили в чистом виде элементы Mn, Cu, Fe, Si, V, Ru, Zr, Hf, а затем алюминиевую лигатуру с примесями, ферросплавы с P, As, Se, Te, а также В и Ru в виде лигатур на основе никеля. Для того чтобы избежать рафинирования вредных примесей, РЗЭ, а также Ca, Mg вводили в отдельные экземпляры в виде лигатур на основе никеля с учетом потерь по причине испарения при выплавке и отливке. После расплавления и перемешивания расплав выливали в стальные трубы диаметром 70 мм. Применение такой технологии выплавки позволило ввести в никелевый жаропрочный сплав практически все примесные элементы (за исключением кальция и магния), которые хорошо усвоились, что свидетельствует о правильности выбранной технологии.

После переплава на установке направленной кристаллизации УВНК-9 с заливкой в керамические формы на основе электрокорунда с этилсиликатным связующим установлено, что легкоплавкие элементы угорели на 1–2 порядка. Поэтому для изготовления СО на легкоплавкие примеси использовали технологию вакуумно-индукционной плавки без последующего переплава. В образцах с РЗЭ после направленной кристаллизации установлено увеличение содержания кремния у краев полученных образцов. Это связано с восстановлением кремния из материала формы РЗЭ. Среднее квадратическое отклонение результатов измерений РЗЭ также превышает 20 %, что указывает на их неравномерное распределение в объеме материала СО. Как показали результаты исследования микроструктуры СО и микрорентгеноспектрального анализа вблизи эвтектической фазы Ni<sub>3</sub>Al образовались интерметаллидная фаза на основе никеля и РЗЭ с содержанием РЗЭ до 25 % (по массе) и размерами до 30 мкм, что не позволяет использовать эти материалы в качестве СО.

Для обеспечения однородности по РЗЭ материала СО применяли порошковую технологию с горячим прессованием. Получение порошка материала СО с РЗЭ проводили на установке HERMIGA [13], затем рассеивали порошок на ситах, отделяя скраб, чешуйки и крупные зерна. После удаления скраба и крупных зерен порошок прессовали при температуре выше солидус на прессе типа HP W 400/500-2200-2500-PS/ВК в графитовых пресс-формах, покрытых нитридом бора [14]. Как показали результаты исследования микроструктуры СО и микрорентгеноспектрального анализа в материале СО отсутствуют фазы типа Ni<sub>3</sub>РЗЭ. Среднее квадратическое отклонение результатов

измерений РЗЭ не превышало 5 % (по массе), что указывает на однородность данного материала. По данной технологии изготовлены комплекты СО, состоящие из трех экземпляров СО с различным содержанием вредных примесей, трех экземпляров СО с различным содержанием РЗМ и одного экземпляра, в который примеси не вводили.

Порошковая технология с горячим прессованием также эффективно применяется при разработке и изготовлении материала СО состава катодного сплава на алюминиевой основе [15]. Из-за того, что в состав СО сплава ВСДП-16 входит от 13 до 17 % (по массе) никеля, слитки материала СО, выплавленные в вакуумных индукционных печах с заливкой в чугунные изложницы или с применением кристаллизатора скольжения, имеют неравномерное распределение никеля и иттрия по сечению слитка: до 30 отн. % по никелю и 15–20 отн. % по иттрию. Такая ликвация связана с большой разницей температур плавления никеля и алюминия, а также превышением предела растворимости никеля в алюминии. Поэтому для получения однородного материала СО применяли порошковую технологию с последующим компактированием. Порошок сплава ВСДП-16 получали на установке HERMIGA.

Для компактирования порошка использовали высокотемпературную газостатическую обработку, которую проводили в газостате Quintus-16 с молибденовым двухзонным нагревателем, в капсулах из стали 12Х18Н10Т при температуре солидус. Однако исследования методом растровой электронной микроскопии показали, что полученный таким методом материал имеет существенную пористость. На изображении отчетливо видны контуры исходных гранул (рис. 2, а). При проведении измерений на оптико-эмиссионном спектрометре получают прожоги нехарактерного для сплавов на алюминиевой основе вида, что свидетельствует о неправильном процессе возбуждения, поэтому данный материал невозможно использовать в качестве СО.

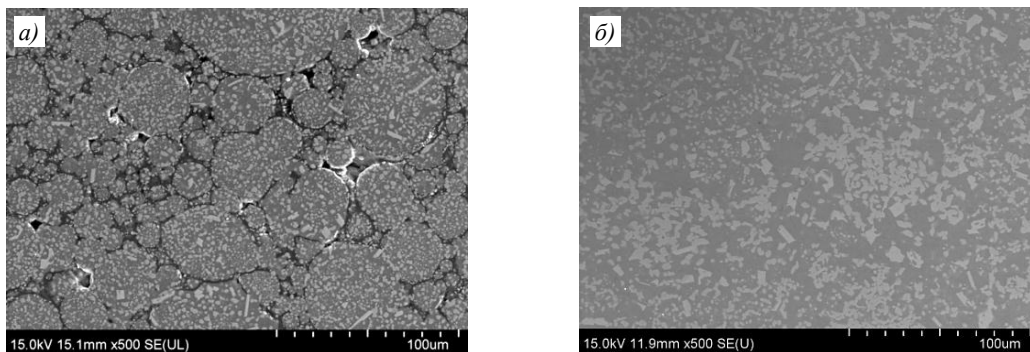


Рис. 2. Микроструктура ( $\times 500$ ) материала стандартного образца из сплава ВСДП-16 после высокотемпературной газостатической обработки (а) и горячего прессования (б)

С применением горячего прессования в графитовой пресс-форме на установке FCT HPW 100/150-2200-50-LA при температуре спекания 600 °С и давлении 20 МПа (62 кН) получен материал СО, структура которого практически не имеет пор (рис. 2, б). При исследовании на оптико-эмиссионном спектрометре данного материала получают прожоги характерного для сплавов на алюминиевой основе вида. При этом характеристика однородности для легирующих элементов составила  $< 0,2$  %, что свидетельствует о равномерном распределении элементов в объеме материала и возможности его использования в качестве СО. Данная технология перспективна для изготовления лигатур алюминиевых сплавов с высокой степенью однородности.

Исследования химического состава материала СО и их однородности проводились методами атомно-эмиссионного, атомно-абсорбционного, масс-спектрометрического и рентгенофлуоресцентного анализов в ВИАМ [16, 17].

Испытания СО для утверждения типа образца проводятся во ФГУП «ВНИИОФИ» с применением Государственного первичного эталона единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе спектральных методов ГЭТ 196–2015 [18]. Такая схема разработки и определения химического состава комплектов СО в целях утверждения типа образца позволила сократить сроки разработки СО с 1,5–2 лет до 8 мес.

На рис. 3 представлен внешний вид утвержденного типа СО состава сплава ЖС6К для спектрального анализа, который состоит из пяти экземпляров различного химического состава. Размеры образцов: диаметр 40 мм, высота 30 мм.



Рис. 3. Внешний вид стандартного образца состава сплава ЖС6К

Разработанные комплекты ГСО (ОСО) успешно применяются в ВИАМ и на других предприятиях авиационной отрасли для градуировки оптико-эмиссионных и рентгенофлуоресцентных спектрометров при проведении экспресс-анализа сплавов в ходе плавки для своевременной корректировки состава.

В настоящее время в ВИАМ проводятся работы по реализации ранее выпущенных СО, аттестации материала Заказчика с проведением метрологического обеспечения работ и оформлением документации на СО, а также выпуску СО по полному циклу производства, включая разработку технического задания, выплавку материала и организацию испытаний в целях утверждения типа СО.

В ВИАМ производят СО состава сплавов на различных основах, включая:

- СО в форме монолитов и стружки для сплавов АК5М (АЛ5), АК12, АК9ч., АК7ч., Д16, ВТИ-4, ВТ5-1, ВТ6, ВТ3-1, ВТ4, ВТ5, ВТ14, ОТ4, ОТ4-1, ВТ20, ВТ21Л, ВТ22, ВТ18У, МЛ10, МЛ5, МЛ5п.ч., ВНЛ3, ВНЛ9, СДП-6, СДП-2, ЖС6У, ЖС6К, АЖ-8, ВЖМ5У, ВЖМ8, ВЖМ7, ВЖЛ21, ВИН3;

- СО в форме порошка для сплавов ВПр24, ВПр50, ВПр27, ВПр36, ВПр37, ВПр44, ВКНА-25, ВЖ171, ВЖ159, ВКНА-1В, ВКНА-4У, ЭП648, ВЖ175-ИД, ВЖЛ21-ВИ, ВЖЛ738, ЭК61, IN939, ЖС6К, ВИН6, ВНЛ14, ВКС210, ЭП533, ЭП288, 12Х18Н10Т, ЭП517, ЭП509, ЭП56, ВТ6, ВИТ7Л, ВТ20, ВАС1, АК9ч., В95, Д16, ВЛК-1;

- СО массовой доли водорода в титановых сплавах (комплект монолитных образцов).

В ВИАМ планируется развивать производство СО – в первую очередь СО утвержденного типа. С этой целью планируется проведение первичной аттестации вторичного эталона массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе спектральных методов и получение в дальнейшем права на проведение в ВИАМ испытаний СО для утверждения типа образца методом измерения на вторичном эталоне. Данные

мероприятия позволят сократить сроки проведения испытаний в целях утверждения типа СО на 4–6 мес.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

### Заключения

За последние 10 лет в ВИАМ разработаны СО состава материалов на различных основах, в том числе категории ГСО состава сплавов ЖС6У, ЖС6К, ВЖМ7, ВЖМ8, ВЖЛ21, ВИНЗ, ВКС17, ВКС18, В-1167, В-1461, В-1469, В-1480, В-1481, В-1977, Д16, Д1, ВСДП-16, ВМЛ20, ВМД16, МЛ19, ВТ46, а также сплава типа ВЖМ на примеси.

Современная высокотехнологическая производственная база позволяет изготавливать в ВИАМ материалы, обеспечивающие требования, предъявляемые к СО, а именно – низкую пористость, отсутствие трещин и рыхлот при высокой степени однородности распределения элементов по объему образца. Приведен обзор технологий, применяемых при изготовлении материалов СО. Показано, что применение порошковой технологии в сочетании с горячим прессованием позволяет получать однородный материал СО, который невозможно получить по литейной технологии.

В ВИАМ проводится полный цикл производства по выпуску СО, включая разработку технического задания, выплавку материала и организацию испытаний в целях утверждения типа СО из никелевых, титановых, магниевых, алюминиевых, кобальтовых, медных сплавов и сталей, в виде монолитных образцов, стружки и порошка. В данной работе приведен перечень СО состава сплавов на различных основах, которые производятся в настоящее время.

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ планируется создать на базе современного аналитического оборудования вторичного эталона массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе спектральных методов, а также получить аккредитацию на проведение испытаний СО для утверждения типа образца методом измерения на вторичном эталоне.

### Список источников

1. ГОСТ 8.315–2019. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения М.: Стандартинформ, 2019. 33 с.
2. Карпов Ю.А., Барановская В.Б. Аналитический контроль – неотъемлемая часть диагностики материалов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 1-1. С. 5–12.
3. Карпов Ю.А. Аналитический контроль металлургического производства. М.: Металлургия, 1995. С. 97–107.
4. Отто М. Современные методы аналитической химии: в 2 т. М.: Техносфера, 2003. Т. I. 416 с.
5. Об обеспечении единства измерений: Федер. закон № 102-ФЗ от 26.06.2008 // Российская газета. 2010. № 112 (5191). 26 мая.
6. Карачевцев Ф.Н., Летов А.Ф., Проценко О.М., Якимова М.С. Разработка и применение стандартных образцов перспективных сплавов авиационного назначения // Труды ВИАМ. 2016. № 10 (46). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 21.12.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-10-8-8.
7. Осинцева Е.В. Задачи и функции Научного методического центра государственной службы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов // Стандартные образцы. 2012. № 3. С. 15–40.
8. Дуюнова В.А., Оглодков М.С., Путырский С.В., Кочетков А.С., Зуева О.В. Современные технологии выплавки слитков титановых сплавов (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 03. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 12.07.2022). DOI: 10.18577/2071-9140-2022-0-1-30-40.

9. Каблов Е.Н., Бондаренко Ю.А., Ечин А.Б. Развитие технологии направленной кристаллизации литейных высокожаропрочных сплавов с переменным управляемым температурным градиентом // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 24–38. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-S-24-38.
10. Бондаренко Ю.А. Тенденции развития высокотемпературных металлических материалов и технологий при создании современных авиационных газотурбинных двигателей // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 2 (55). С. 3–11. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-2-3-11.
11. Каблов Е.Н., Сидоров В.В., Каблов Д.Е., Мин П.Г. Металлургические основы обеспечения высокого качества монокристаллических жаропрочных никелевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 55–71. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-55-71.
12. Мин П.Г., Вадеев В.Е., Крамер В.В. Разработка нового жаропрочного никелевого сплава ВЖМ200 и технологии его производства для литья методом направленной кристаллизации рабочих лопаток перспективных двигателей // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 3 (64). Ст. 02. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 11.07.2022). DOI: 10.18577/2071-9140-2021-0-3-11-18.
13. Алишин М.И., Князев А.Е. Производство металлопорошковых композиций высокой чистоты титановых сплавов методом индукционной газовой атомизации для аддитивных технологий // *Труды ВИАМ*. 2017. № 11 (59). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 21.12.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-11-5-5.
14. Кузнецов Б.Ю., Сорокин О.Ю., Ваганова М.Л., Осин И.В. Синтез модельных высокотемпературных керамических матриц методом искрового плазменного спекания и изучение их свойств для получения композиционных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. № 4 (53). С. 37–44. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-37-44.
15. Карачевцев Ф.Н., Ерошкин С.Г., Мосолов А.Н. Стандартный образец для спектрального анализа сплава алюминиевого ВСДП-16 // *Эталоны. Стандартные образцы*. 2022. Т. 18. № 1. С. 39–58. DOI: 10.20915/2077-1177-2022-18-1-39-58.
16. Якимович П.В., Алексеев А.В. Определение примесей в магниевых сплавах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // *Измерительная техника*. 2019. № 8. С. 68–72.
17. Алексеев А.В., Якимович П.В., Проскурнина Е.В. Определение Si, В, Са, Mg, Ва и Zr в сложнoleгированных никелевых сплавах методом ИСП-МС // *Вестник Московского университета. Сер. 2: Химия*. 2020. Т. 61. № 1. С. 27–33.
18. Каблов Е.Н., Чабина Е.Б., Морозов Г.А., Муравская Н.П. Оценка соответствия новых материалов с использованием СО и МИ высокого уровня // *Компетентность*. 2017. № 2. С. 40–46.

#### References

1. State Standard 8.315–2019. *Standard samples of the composition and properties of substances and materials. Basic provisions*. Moscow: Standartinform, 2019, 33 p.
2. Karpov Yu.A., Baranovskaya V.B. Analytical control is an integral part of material diagnostics. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2017, vol. 83, no. 1-I, pp. 5–12.
3. Karpov Yu.A. *Analytical control of metallurgical production*. Moscow: Metallurgiya, 1995, pp. 97–107.
4. Otto M. *Modern methods of analytical chemistry*: in 2 vols. Moscow: Technosfera, 2003, vol. I, 416 p.
5. On ensuring the uniformity of measurements: Feder. Law No. 102-FZ of June 26, 2008. *Rossiyskaya Gazeta*, 2010, no. 112 (5191), May 26.
6. Karachevtsev F.N., Letov A.F., Protsenko O.M., Yakimova M.S. Development and application of certified reference materials of airborne advanced alloys. *Trudy VIAM*, 2016, no. 10, paper no. 8. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 21, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-10-8-8.
7. Osintseva E.V. Tasks and functions of the Scientific Methodological Center of the State Service of Reference Materials of the Composition and Properties of Substances and Materials. *Standartnye obraztsy*, 2012, no. 3, pp. 15–40.

8. Duyunova V.A., Oglodkov M.S., Putyrskiy S.V., Kochetkov A.S., Zueva O.V. Modern technologies for melting titanium alloy ingots (review). *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 03. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 12, 2022). DOI: 10.18577/2071-9140-2022-0-1-30-40.
9. Kablov E.N., Bondarenko Yu.A., Echin A.B. Development of technology of cast superalloys directional solidification with variable controlled temperature gradient. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 24–38. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-24-38.
10. Bondarenko Yu.A. Trends in the development of high-temperature metal materials and technologies in the production of modern aircraft gas turbine engines. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 2 (55), pp. 3–11. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-2-3-11.
11. Kablov E.N., Sidorov V.V., Kablov D.E., Min P.G. The metallurgical fundamentals for high quality maintenance of single crystal heat-resistant nickel alloys. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 55–71. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-55-71.
12. Min P.G., Vadeev V.E., Kramer V.V. The development of the new VZhM200 superalloy and the technology of its production for casting of the advanced engines' blades by the directional crystallization. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 3 (64), paper no. 02. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 11, 2022). DOI: 10.18577/2071-9140-2021-0-3-11-18.
13. Alishin M.I., Knyazev A.E. Production of metal-powder high-purity titanium alloy compositions by induction gas atomization for application in additive manufacturing. *Trudy VIAM*, 2017, no. 11 (59), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 21, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-11-5-5.
14. Kuznetsov B.Yu., Sorokin O.Yu., Vaganova M.L., Osin I.V. Synthesis of model high-temperature ceramic matrices by the method of spark plasma sintering and the study of their properties for the production of composite materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 4 (53), pp. 37–44. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-37-44.
15. Karachevtsev F.N., Eroshkin S.G., Mosolov A.N. Standard sample for spectral analysis of aluminum alloy VSDP-16 // *Etalony. Standartnyye obraztsy*, 2022, vol. 18, no. 1, pp. 39–58. DOI: 10.20915/2077-1177-2022-18-1-39-58.
16. Yakimovich P.V., Alekseev A.V. Determination of impurities in magnesium alloys by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Izmeritel'naya tekhnika*, 2019, no. 8, pp. 68–72.
17. Alekseev A.V., Yakimovich P.V., Proskurnina E.V. Determination of Si, B, Ca, Mg, Ba, and Zr in complex nickel alloys by ICP-MS. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 2: Chemistry*, 2020, vol. 61, no. 1, pp. 27–33.
18. Kablov E.N., Chabina E.B., Morozov G.A., Muravskaya N.P. Conformity assessment of new materials using high-level RM and MI. *Kompetentnost*, 2017, no. 2, pp. 40–46.

*Информация об авторах*

**Карачевцев Федор Николаевич**, начальник лаборатории, к.х.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Ерошкин Сергей Геннадьевич**, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Горбовец Михаил Александрович**, начальник Испытательного центра, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

*Information about the authors*

**Fedor N. Karachevtsev**, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Chem.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Sergey G. Eroshkin**, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Mikhail A. Gorbovets**, Head of Testing Center, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 18.07.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 25.07.2022.  
The article was submitted 18.07.2022; approved and accepted for publication after reviewing 25.07.2022.