

Научная статья

УДК 669.721.5

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-26-34

РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ СОСТАВА МАГНИЕВОГО СПЛАВА МЛ19

Ф.Н. Карачевцев¹, С.Г. Ерошкин¹, Н.В. Трофимов¹, А.А. Леонов¹, Н.А. Поповнина²

¹НИИ «Курчатовский институт» – ВИАМ, Москва, Россия; admin@viam.ru

²ПАО «ОДК-Кузнецов», Самара, Россия; lab@uec-kuznetsov.ru

Аннотация: Проведена разработка технологии изготовления и производства материала для стандартных образцов (СО) состава магниевого сплава МЛ19. Выполнено изготовление материала для СО указанного сплава в виде цилиндров диаметром 40 мм и высотой 30 мм. Проведены испытания материала для СО в целях утверждения его типа. Установлены метрологические характеристики СО, выполнена метрологическая экспертиза, оформлены заключения по проверке результатов испытаний СО состава магниевого сплава МЛ19.

Ключевые слова: стандартный образец, магниевый сплав, спектроскопия, технология изготовления, утверждение типа, неопределенность

Для цитирования: Карачевцев Ф.Н., Ерошкин С.Г., Трофимов Н.В., Леонов А.А., Поповнина Н.А. Разработка стандартных образцов состава магниевого сплава МЛ19 // Труды ВИАМ. 2022. № 1 (107). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-26-34.

Scientific article

DEVELOPMENT OF STANDARD SAMPLES OF MAGNESIUM ALLOY ML19

Fedor N. Karachevtsev¹, Sergey G. Eroshkin¹, Nikolay V. Trofimov¹,
Alexander A. Leonov¹, Natalya A. Popovnina²

¹NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, Moscow, Russia; admin@viam.ru

²PJSC «ODK-Kuznetsov», Samara, Russia; lab@uec-kuznetsov.ru

Abstract: The development of technology for the manufacture and production of reference materials (CRMs) of the composition of the magnesium alloy ML19 has been carried out. Manufactured material for CRM pipes with a diameter of 40 mm and a height of 30 mm. Tests of the material for CRM have been carried out in order to validate it. The metrological characteristics of the CRM were established, a metrological examination was carried out, and the conclusion on the verification of the CRM test results for the composition of the ML19 magnesium alloy.

Keywords: standard sample, magnesium alloys, spectroscopy, manufacturing technology, type approval, uncertainty

For citation: Karachevtsev F.N., Eroshkin S.G., Trofimov N.V., Leonov A.A., Popovnina N.A. Development of standard samples of magnesium alloy ML19. *Trudy VIAM*, 2022, no. 1 (107), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-26-34.

Введение

Как конструкционные материалы магниевые сплавы обладают рядом преимуществ по сравнению со сплавами на других основах: высокой удельной прочностью; хорошим сопротивлением усталости; стабильностью механических свойств при соблюдении требований при длительном хранении; способностью работать в широком диапазоне температур – от $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до высоких (кратковременно – до $300\text{--}350\text{ }^{\circ}\text{C}$, длительно – до $200\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$); высокой демпфирующей способностью; хорошим тепловым и противошумным экранированием и др. Эти свойства востребованы для изделий авиационной, космической и оборонной промышленности. Применение магниевых сплавов позволяет улучшить весовую эффективность элементов конструкции летательных аппаратов, повысить дальность полета и полезную массу изделий, а также улучшить их тактико-технические характеристики и ресурс работы [1, 2]. При этом замена деталей и узлов из алюминиевых сплавов на магниевые сплавы приводит к снижению массы этих конструктивных элементов на 25–30 %.

В настоящее время за рубежом вновь возрастает интерес к магниевым сплавам с позиции их применения в летательных аппаратах, где по своим характеристикам они могут успешно конкурировать даже с композиционными углепластиковыми [3].

Сплав марки МЛ19 относится к группе жаропрочных литейных магниевых сплавов системы Mg–PZM–Zr. В состав сплава входят такие легирующие элементы, как неодим, иттрий, цирконий и цинк. В сплавах этой системы необходимо контролировать наличие вредных примесей (алюминия, кремния, железа, никеля, меди и бериллия) в соответствии с ГОСТ 2856–79. Сплав рекомендуется применять для изготовления деталей летательных аппаратов, приборов, агрегатов (корпусов насосов, помп, картеров, маслоотстойников, крышек блоков, кронштейнов, ферм, рам) изделий для авиакосмической промышленности и машиностроения, работающих длительно при температуре до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для обеспечения единства измерений и контроля качества материалов и полуфабрикатов из них необходимы стандартные образцы (СО) состава сплавов [4–6]. В задачу данной работы входит разработка СО состава магниевого сплава МЛ19, которые позволят проводить анализ материала магниевых сплавов в процессе выплавки для оперативной корректировки их состава.

Для проведения такого анализа используется современное химико-аналитическое оборудование (оптико-эмиссионный спектрометр Q8 Magellan, рентгенофлуоресцентный анализатор типа S8 Tiger). Однако корректные и достоверные результаты на таком оборудовании можно получить только при наличии СО состава сплавов соответствующих марок. В настоящее время в отрасли отсутствуют комплекты СО состава магниевого сплава МЛ19 для спектрального анализа [7–9].

Назначение СО: аттестация, валидация методик (методов) измерений и контроль точности результатов измерений состава магниевого сплава МЛ19 и аналогичных по химическому составу магниевых сплавов методами спектрального анализа; калибровка средств измерений состава магниевых сплавов при соответствии метрологических характеристик СО требованиям методик калибровки; установление и контроль стабильности калибровочной (градуировочной) характеристики при соответствии метрологических и технических характеристик СО требованиям методики измерений; проверка средств измерений состава магниевых сплавов.

В данной работе к СО предъявляли следующие основные требования:

- материал СО должен быть однороден по химическому составу, не иметь трещин, пор и прочих дефектов;
- аттестованные значения СО должны охватывать интервал легирования сплава МЛ19 для построения градуировочных зависимостей на спектральном оборудовании;

- комплект СО должен состоять из пяти экземпляров стандартных образцов.
- Основными задачами, решаемыми в процессе выполнения работы, являлись:
 - выбор технологии выплавки материала для СО, которая обеспечивала бы получение однородного материала заданного химического состава;
 - изготовление и выпуск комплектов СО;
 - установление метрологических характеристик СО и требований к ним;
 - разработка комплекта документов на СО в целях утверждения их типа.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 2.1. «Фундаментально-ориентированные исследования» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [10].

Материалы и методы

Измерения методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой проводили на спектрометрах Ultima 2 и Agilent 5100 с аксиальным обзором плазмы по методикам МИ 1.2.078–2018 и МИ 1.2.079–2018 [11, 12]. Масс-спектрометрические исследования выполняли на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCap-Qc по МИ 1.2.080–2018. Измерения методом атомно-абсорбционной спектроскопии осуществляли на спектрометре Varian 240FS по ГОСТ 3240–76. Исследование однородности распределения элементов в материале для СО проводили на спектрометре Q8 Magellan оптико-эмиссионным методом анализа по ГОСТ 7728–79 [13].

Объектом исследования в данной работе является материал СО из магниевого сплава МЛ19 (комплект) для его спектрального анализа.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ научно-технической информации в области выплавки сплавов системы легирования Mg–PZM–Zr показал, что для обеспечения плотной бездефектной структуры материалов для СО возможно проводить выплавку сплава в печи с газовым обогревом и заливкой металла в металлический кокиль диаметром 60 мм.

Выбор и расчет шихтовых составов СО из сплава МЛ19 для выплавки материала для СО (пять экземпляров с разным химическим составом) проводили таким образом, чтобы был обеспечен широкий диапазон содержания основных легирующих элементов для сплава МЛ19.

Стандартные образцы с таким химическим составом обеспечивают построение градуировочных графиков с широким диапазоном содержания элементов, что поможет сделать выводы о соответствии или несоответствии состава сплава нормативной документации для сплава МЛ19 и близких по химическому составу сплавов. В табл. 1 приведен расчетный шихтовой состав сплава МЛ19 для выплавки СО.

Таблица 1

Шихтовой состав сплава МЛ19 для проведения выплавки стандартных образцов (СО)

Индекс СО	Содержание элементов, % (по массе)									
	Y	Nd	Zn	Zr	Al	Be	Cu	Fe	Ni	Si
МЛ19-1	1,4	1,0	0,005	0,600	0,0005	0,0001	0,0003	0,0003	0,0009	0,0005
МЛ19-2	0,5	2,0	0,400	1,000	0,0050	0,0002	0,0010	0,0001	0,0005	0,0010
МЛ19-3	2,4	2,5	0,150	0,100	0,0010	0,0003	0,0008	0,0010	0,0020	0,0020
МЛ19-4	1,2	2,2	0,900	0,005	0,0500	0,0005	0,0200	0,0200	0,0010	0,0030
МЛ19-5	1,5	2,7	0,800	0,400	0,0030	0,0002	0,0005	0,0010	0,0100	0,0001
По ГОСТ 2856–79	1,4–2,2	1,6–2,3	0,100–0,600	0,400–1,000	0,0300	0,0010	0,0300	0,0100	0,0050	0,0300

Проведена отработка технологических режимов выплавки материала для СО состава магниевых сплавов МЛ19, а именно способов введения основных легирующих элементов и примесей: сначала вводили чушковой магнием, далее цинк, медь, а затем лигатуры магний–цирконий, магний–иттрий и магний–неодим.

При введении примесей в состав сплава МЛ19 цирконий осаждается в жидком расплаве на дно тигля, что приводит к неоднородному его распределению в отливках. Поэтому при введении примесей в сплав МЛ19 не добавляли цирконий. В соответствии с выбранным составом произведены расчет и навеска шихтовых материалов для каждой плавки.

После введения каждого легирующего элемента производили тщательное перемешивание расплава, а зеркало расплавленного металла покрывали флюсом. В момент введения легирующих компонентов и перемешивания расплава возникали очаги горения, поэтому поверхность расплава присыпали флюсом ВИ-2.

Отливку заготовок СО производили в чугунный кокиль. Из одной плавки получали по четыре слитка (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид отливки из материала для стандартных образцов

Заготовки СО обтачивали на токарном станке до диаметра 40 мм, разрезали на отрезном круге и отторцовывали с целью отбора стружки для химического анализа. Схема разрезки приведена на рис. 2.

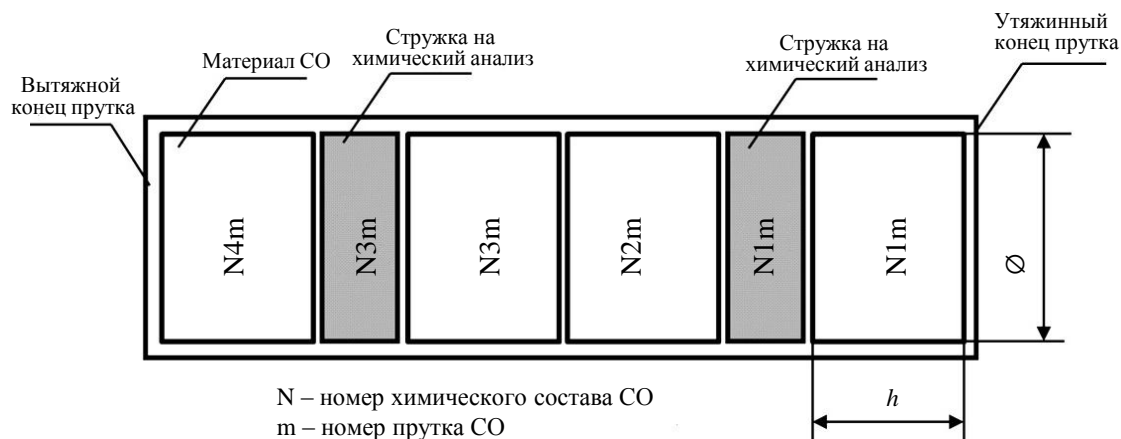


Рис. 2. Схема разрезки заготовки стандартного образца (СО)

Таким образом, отобрано по восемь проб материала от каждого состава СО в виде стружки. В дальнейшем пробы материала от каждого состава СО смешивали между собой; методом квартования отбирали образцы стружки для химического анализа.

Для спектрального анализа изготовлены СО состава магниевого сплава МЛ19 диаметром 40 мм и высотой 30 мм. На образцы нанесена маркировка. Общий вид комплекта СО состава магниевого сплава МЛ19 приведен на рис. 3.



Рис. 3. Комплект стандартных образцов состава магниевого сплава МЛ19

Исследование однородности СО проводили совместно с определением аттестованных значений в соответствии с РМГ 53–2002 «Стандартные образцы. Оценивание метрологических характеристик с использованием эталонов и образцовых средств измерений» [14].

Характеристику однородности (S_H) рассчитывали по алгоритму, приведенному в РМГ 53–2002. Результаты определения характеристики однородности СО представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика однородности (в % (отн.)) стандартных образцов (СО) из сплава МЛ19

Индекс СО	Y	Nd	Zn	Zr	Al	Be	Cu	Fe	Ni	Si
МЛ19-1	0,2	0,2	1,4	0,2	1,6	2,0	2,5	0,7	5,7	0,7
МЛ19-2	0,2	0,2	0,2	0,2	1,0	–	1,1	1,01	2,9	8,2
МЛ19-3	0,4	0,4	0,4	2,3	2,6	–	3,3	0,8	–	0,7
МЛ19-4	0,2	0,4	0,5	0,8	2,0	1,4	0,4	0,8	–	0,5
МЛ19-5	0,3	0,2	0,4	0,3	2,1	0,7	0,9	0,4	2,4	0,5

Характеристика однородности для легирующих элементов <1 % свидетельствует об их хорошей растворимости в объеме материала и возможности его использования в качестве СО.

Аттестованные значения массовых долей цинка, циркония, неодима, иттрия, алюминия, никеля, меди, железа, кремния и бериллия в СО определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой.

Согласно методикам измерений, представленным в работе [12], растворение проб материалов для СО проводили в смесях соляной, азотной и фтористоводородной кислот. После этого растворы переносили в мерные колбы и доводили до метки бидистиллированной водой. Затем, согласно методикам измерений, отбирали аликвотные части анализируемых растворов, добавляли раствор бария в качестве внутреннего стандарта и доводили объем раствора в колбе бидистиллированной водой до метки.

Установление градуировочных характеристик осуществляли непосредственно перед проведением измерений. Для каждого градуировочного раствора выполняли не менее пяти измерений (реплик) интенсивностей аналитических линий определяемого элемента. Продолжительность реплики составляла 5 с. Растворы анализируемых проб последовательно вводили в источник возбуждения и измеряли интенсивности аналитических линий определяемых элементов. В соответствии с программным обеспечением, управляющим спектрометром, для каждого раствора выполняли по три параллельных

измерения интенсивности и вычисляли среднее значение. С помощью градуировочной зависимости находили содержание определяемого элемента в растворе пробы.

Дополнительно методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводили определение примесей.

Способ установления прослеживаемости аттестованного значения СО – применение 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.

Алгоритм расчета характеристики погрешности, обусловленной способом установления аттестованного значения СО, приведен в п. 4.2 РМГ 53–2002 «Оценивание метрологических характеристик с использованием эталонов и образцовых средств измерений».

Погрешность аттестованных значений СО ($D_{\text{атт}}$) рассчитывали по формуле

$$D_{\text{атт}} = (D_{\text{м}}^2 + 4 \cdot S_{\text{н}}^2)^{0,5},$$

где $D_{\text{м}}$ – погрешность метода, используемого для установления аттестованного значения, а $S_{\text{н}}$ – характеристика однородности для легирующих элементов, рассчитанные в соответствии с РМГ 53–2002.

Результаты определения метрологических характеристик СО из сплава МЛ19 приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Аттестованная характеристика стандартных образцов (СО) из сплава МЛ19

Индекс СО	Содержание элементов, % (по массе)									
	Y	Nd	Zn	Zr	Al	Be	Cu	Fe	Ni	Si
МЛ19-1	1,45	1,12	0,0073	0,590	0,0020	0,00002	0,0004	0,0007	0,00090	0,0007
МЛ19-2	0,66	2,13	0,3700	0,510	0,0026	–	0,0011	0,0008	0,00045	0,0005
МЛ19-3	2,44	2,55	0,1650	0,154	0,0062	–	0,0009	0,0037	0,00210	0,0030
МЛ19-4	1,27	2,00	0,9100	0,004	0,0550	0,00059	0,0247	0,0190	0,00170	0,0050
МЛ19-5	1,51	2,73	0,8400	0,619	0,0034	0,00020	0,0007	0,0033	0,00830	0,0020

Таблица 4

Границы абсолютной погрешности аттестованных значений государственных стандартных образцов (ГСО) (при доверительной вероятности 0,95)

Индекс СО	Границы абсолютной погрешности элементов, %									
	Y	Nd	Zn	Zr	Al	Be	Cu	Fe	Ni	Si
МЛ19-1	0,09	0,05	0,0015	0,040	0,0010	0,00001	0,0001	0,0001	0,00040	0,0002
МЛ19-2	0,06	0,12	0,0100	0,030	0,0001	–	0,0004	0,0002	0,00018	0,0002
МЛ19-3	0,12	0,12	0,0050	0,016	0,0014	–	0,0002	0,0004	0,00050	0,0010
МЛ19-4	0,04	0,12	0,0400	0,001	0,0060	0,00017	0,0019	0,0040	0,00060	0,0010
МЛ19-5	0,08	0,13	0,0300	0,029	0,0007	0,00010	0,0002	0,0003	0,00060	0,0010

С использованием разработанных СО из магниевого сплава МЛ19 построены градуировочные зависимости на оптико-эмиссионном и рентгенофлуоресцентном анализаторах (рис. 4). Зависимости имеют линейный вид, что позволяет применять СО для калибровки спектрального оборудования.

Проведена метрологическая экспертиза в соответствии с требованиями ГОСТ 8.315–2019 [15] и других документов (протоколов испытаний материалов для СО и исследования однородности СО состава сплава МЛ19, проекта описания их типа, паспорта, этикетки).

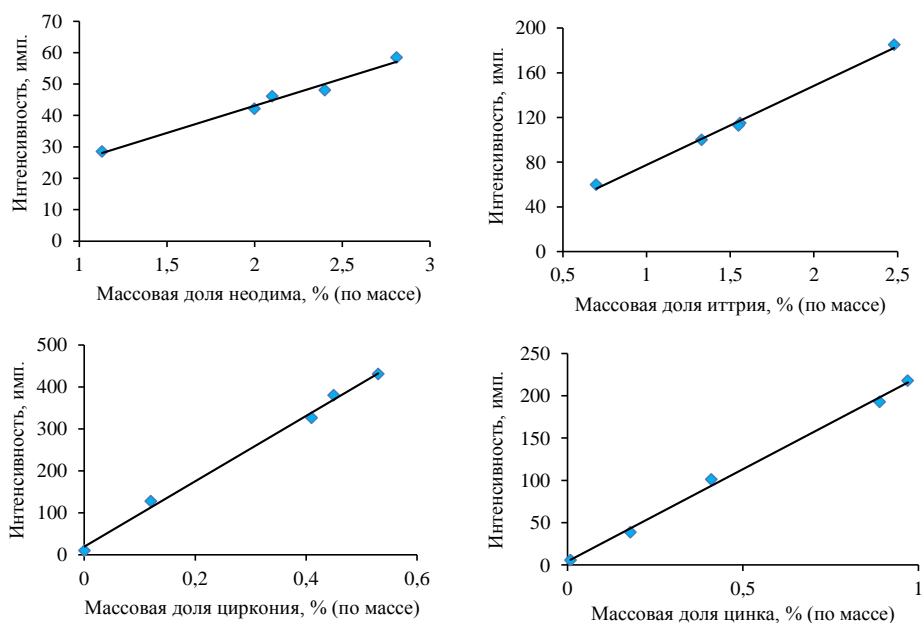


Рис. 4. Градуировочные зависимости, построенные на рентгенофлуоресцентном анализаторе S8 Tiger

Оформлены заключения по проверке результатов испытаний СО состава сплава МЛ19. Выпущено 10 комплектов СО утвержденного типа (ГСО 11695–2021) состава магниевого сплава МЛ19 с описанием типа и паспортом, которые имеют метрологические характеристики, приведенные в табл. 3 и 4.

Заключения

Разработанная технология изготовления материала для СО состава высокопрочного магниевого сплава МЛ19 обеспечивает получение однородных СО заданного химического состава и основана на выплавке в газовом горне с последующим разливом в цилиндрические чугунные изложницы. Определены последовательность и способы введения при требуемой температуре основных легирующих элементов и примесей в материал для СО из сплава МЛ19.

Изготовлены СО состава магниевого сплава МЛ19 для спектрального анализа в виде цилиндров диаметром 40 мм и высотой 30 мм. Выполнено исследование однородности СО и установлено, что характеристика однородности для легирующих элементов <1 % свидетельствует о хорошей растворимости элементов в объеме материала. Проведено определение химического состава полученных СО, показано, что содержание элементов в экзemplярах СО имеет широкий диапазон значений и позволяет использовать их для градуировки спектрального оборудования.

С применением Государственного первичного эталона ГЭТ 196–2015 проведены испытания в целях утверждения типа СО из магниевого сплава МЛ19. Метрологические характеристики СО рассчитаны по РМГ 53–2002. Метрологическая экспертиза выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ 8.315–2019 и других документов (протоколов испытаний, проектов описания типа и паспорта СО).

Выпущены комплекты СО утвержденного типа (ГСО 11695–2021) состава магниевого сплава МЛ19 с описаниями типа и паспортами.

Разработанные СО состава магниевого сплава МЛ19 позволят проводить анализ сплава МЛ19 и близких по составу сплавов опико-эмиссионным методом анализа, в котором не используется растворение проб в кислотах. Это снизит трудоемкость по сравнению с атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой методом анализа в ~3 раза и энергозатраты в ~3,5 раза.

Список источников

1. Антипов В.В. Перспективы развития алюминиевых, магниевых и титановых сплавов для изделий авиационно-космической техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 186–194. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-186-194.
2. 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. № S2. С. 3–10.
3. Дуюнова В.А., Волкова Е.Ф., Уридия З.П., Трапезников А.В. Динамика развития магниевых и литейных алюминиевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 225–241. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-225-241.
4. Карачевцев Ф.Н., Ерошкин С.Г., Мостяев И.В., Акинина М.В., Славин А.В. Разработка стандартных образцов состава магниевых сплавов марок ВМЛ20 и ВМД16 // *Труды ВИАМ*. 2021. № 5 (99). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.09.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-5-39-47.
5. 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.
6. Луценко А.Н., Перов Н.С., Чабина Е.Б. Новые этапы развития Испытательного центра // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 460–468. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-460-468.
7. Карпов Ю.А., Барановская В.Б. Аналитический контроль – неотъемлемая часть диагностики материалов // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2017. Т. 83. № 1-1. С. 5–12.
8. Карпов Ю.А. Аналитический контроль металлургического производства. М.: Металлургия, 1995. С. 97–107.
9. Отто М. Современные методы аналитической химии: в 2 т. М.: Техносфера, 2003. Т. 1. 416 с.
10. 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.
11. Fariñas J.C., Rucandio I., Pomares-Alfonso M.S. et al. Determination of rare earth and concomitant elements in magnesium alloys by inductively coupled plasma optical emission spectrometry // *Talanta*. 2016. No. 154. P. 53–62. DOI: 10.1016/j.talanta.2016.03.047.
12. Дворецков Р.М., Барановская В.Б., Карачевцев Ф.Н., Летов А.Ф. Определение редкоземельных металлов в магниевых сплавах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой // *Измерительная техника*. 2019. № 4. С. 62–66.
13. ГОСТ 7728–79. Сплавы магниевые. Методы спектрального анализа. М.: Изд-во стандартов, 2004. 11 с.
14. РМГ 53–2002. Стандартные образцы. Оценивание метрологических характеристик с использованием эталонов и образцовых средств измерений. М.: Изд-во стандартов, 2004. 8 с.
15. ГОСТ 8.315–2019. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения М.: Стандартинформ, 2019. 33 с.

References

1. Antipov V.V. Prospects for development of aluminium, magnesium and titanium alloys for aerospace engineering. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 186–194. DOI: 10.18577/2107-9140-2017-0-S-186-194.
2. Kablov E.N., Ospennikova O.G., Vershkov A.V. Rare metals and rare-earth elements are materials for modern and future high technologies. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2013, no. S2, pp. 3–10.
3. Duyunova V.A., Volkova E.F., Uridiya Z.P., Trapeznikov A.V. Dynamics of the development of magnesium and cast aluminum alloys. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 225–241. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-225-241.
4. Karachevtsev F.N., Eroshkin S.G., Mos-tayev I.V., Akinina M.V., Slavin A.V. Development of standard samples of magnesium alloys VML20 and VMD16. *Trudy VIAM*, 2021, no. 5 (99), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 16, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-5-39-47.

5. 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.
6. Lutsenko A.N., Perov N.S., Chabina E.B. The new stages of development of Testing Center. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 460–468. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-460-468.
7. 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.
8. Karpov Yu.A. *Analytical control of metallurgical production*. Moscow: Metallurgiya, 1995, pp. 97–107.
9. Otto M. *Modern methods of analytical chemistry*: in 2 vols. Moscow: Technosfera, 2003, vol. 1. 416 p.
10. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
11. Fariñas J.C., Rucandio I., Pomares-Alfonso M.S. et al. Determination of rare earth and concomitant elements in magnesium alloys by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Talanta*, 2016, no. 154, pp. 53–62. DOI: 10.1016/j.talanta.2016.03.047.
12. Dvoretsov R.M., Baranovskaya V.B., Karachevtsev F.N., Letov A.F. Determination of rare earth metals in magnesium alloys by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Izmeritelnaya tekhnika*, 2019, no. 4, pp. 62–66.
13. State Standard 7728–79. *Magnesium alloys. Methods of spectral analysis*. Moscow: Publishing house of standards, 2004, 11 p.
14. RMG 53–2002. *Standard samples. Assessment of metrological characteristics using standards and exemplary measuring instruments*. Moscow: Publishing house of standards, 2004, 8 p.
15. State Standard 8.315–2019. *Standard samples of the composition and properties of substances and materials. Basic provisions*. Moscow: Standartinform, 2019, 33 p.

Информация об авторах

Карачевцев Федор Николаевич, начальник лаборатории, к.х.м., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Ерошкин Сергей Геннадьевич, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Трофимов Николай Вадимович, Инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Леонов Александр Андреевич, начальник лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Поповнина Наталья Николаевна, начальник спектральной лаборатории, Публичное акционерное общество «ОДК-Кузнецов», lab@uec-kuznetsov.ru

Information about the authors

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

Sergey G. Eroshkin, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Nikolay V. Trofimov, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Alexander A. Leonov, Head of laboratory, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Natalya A. Popovnina, Head of the spectral laboratory, Public Joint Stock Company «ODK-Kuznetsov», lab@uec-kuznetsov.ru

Статья поступила в редакцию 19.11.2021; одобрена после рецензирования 10.12.2021; принята к публикации 10.12.2021.

The article was submitted 19.11.2021; approved after reviewing 10.12.2021; accepted for publication 10.12.2021.