



УДК 621.791.04

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-11-3-3

## **НОВЫЕ СОСТАВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПРИСАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В.А. Дуюнова

*кандидат технических наук*

И.Ю. Мухина

*кандидат технических наук*

З.П. Уридия

**Ноябрь 2014**

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 621.791.04

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-11-3-3

*В.А. Дуюнова<sup>1</sup>, И.Ю. Мухина<sup>1</sup>, З.П. Уридия<sup>1</sup>*

## **НОВЫЕ СОСТАВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПРИСАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Рассмотрены важнейшие проблемы при литье магниевых сплавов – создание новых составов и технология получения противопригарных присадочных материалов (ППМ) с улучшенными свойствами, а также изучение механизма защиты магниевых сплавов от окисления в процессе литья в песчано-глинистые смеси (ПГС).*

**Ключевые слова:** *магниевого сплавы, противопригарные присадочные материалы (ППМ), песчано-глинистые смеси (ПГС), термогравиметрический анализ (ТГА).*

*V.A. Duyunova, I.Y. Mukhina, Z.P. Uridiya*

## **NEW COMPOSITIONS AND TECHNOLOGY OF ANTIBURNING-ON ADDITIVE MATERIALS PRODUCTION**

*The most important problems at casting of magnesium alloys were considered: creation of new compositions and technology of antiburning-on additive materials (AAM) production with improved properties and study of the mechanism of protection of magnesium alloys from oxidation in the process of casting into sand-clay mixtures (SCM).*

**Keywords:** *magnesium alloys, antiburning-on additive materials (AAM), sandy-clay mixtures (SCM), thermogravimetric analysis (TGA).*

---

<sup>1</sup>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

### **Введение**

С развитием авиационной, автомобильной и других отраслей промышленности производство легких сплавов получило исключительно большое значение. Особую роль в промышленности играет магний и его сплавы [1].

Производство отливок в разовые формы из песчано-глинистых смесей (ПГС) является наиболее распространенным технологическим процессом в России. Тенденции

развития мировой практики литейного производства свидетельствуют о том, что технологии с применением ПГС в настоящее время остаются доминирующими.

Значимость и востребованность магния и его сплавов возрастают из года в год, однако ряд специфических особенностей создает определенные затруднения при проведении технологических процессов в производстве магниевом литья [2, 3].

Расплавленный магний и его сплавы обладают большой восприимчивостью к влаге и легко окисляются кислородом воздуха. Вследствие малой удельной массы магния и его сплавов затрудняется заполнение форм при отливке деталей. Эти явления особенно резко проявляются при производстве магниевом литья в ПГС. Расплавленный магний и его сплавы взаимодействуют с кислородом воздуха, находящимся в полости формы, а также с кислородом воды, содержащейся в ПГС.

С целью предохранения магния и его сплавов от окисления и возгорания в процессе отливки деталей в ПГС, широкое распространение в ряде стран получили фтористые ингибиторы, которые совместно с боросодержащими соединениями вводятся в количестве 5–10% (по массе) от формовочной смеси. Фтористая присадка применялась при производстве магниевом литья и на заводах СССР.

Защищая магний и его сплавы от окисления и возгорания, фтористая присадка при заливке металла в форму разлагалась с выделением токсичных газов и паров, пагубно действующих на здоровье рабочих литейных цехов. Вследствие этого, в 1970 г. была разработана присадка ВМ, которая в настоящее время не изготавливается из-за прекращения производства в нашей стране одного из компонентов присадки [4, 5].

Данная статья посвящена разработке и внедрению в промышленность новых составов ППМ с пониженной гигроскопичностью, обеспечивающих предотвращение возгорания отливок в песчано-глинистых формах, повышение чистоты их поверхности и выхода годных по структуре отливок – до 85% [6–8].

### **Материалы и методы**

Проведены исследования по влиянию состава и соотношения компонентов на процессы деструкции присадочных материалов, их гранулометрический состав, гигроскопичность и нерастворимый остаток в воде. Определены физико-химические свойства отдельных компонентов присадочных материалов.

Защитные свойства присадочного материала зависят от степени разложения его составляющих с последующим образованием защитных газов, предотвращающих окисление расплава в форме.

Для выяснения химической природы процессов, происходящих при нагреве формовочного материала металлом и деструкции компонентов присадки, проведен термогравиметрический анализ (ТГА) образцов присадочных материалов и отдельно – составляющих их компонентов. Испытания проводили на термогравиметрическом анализаторе TGA/SDTA 851<sup>e</sup> фирмы Mettler Toledo (Швейцария) с компьютерной обработкой результатов (программное обеспечение STAR<sup>e</sup>) в динамических условиях при скорости продувки воздуха  $8,3 \cdot 10 \text{ см}^3/\text{с}$  и постоянной скорости нагрева [9–11]. Температурный интервал составлял 298–673 К. Масса образца составляла 3,5–5 мг в соответствии с методическим материалом.

Исследовали образцы присадочных материалов, содержащих борную кислоту, аммонийные соли, сульфаты и карбонаты.

Гранулометрический состав присадочного материала имеет важное значение, так как только гранулы определенного размера способствуют образованию однородной формовочной смеси.

Содержание остатка на сите ( $X$ , % (по массе)) вычисляли по формуле:

$$X = (m_1/m) \cdot 100,$$

где  $m$  – масса навески, г;  $m_1$  – масса остатка на сите, г.

Степень измельчения присадочного материала определяли по массе остатка на сите с определенным размером ячеек.

Гигроскопичность (влажность) противопопригарного присадочного материала является одним из основных свойств по следующим причинам:

- при неконтролируемой влажности невозможно точное дозирование компонентов и соблюдение заданного состава присадки;
- при производстве магниевых отливок в цехе представляется невозможным точное дозирование присадки в формовочную смесь в соответствии с инструкцией, особенно в случае использования оборотной смеси, что постоянно практикуется на производстве;
- трудности при транспортировке присадочных материалов;
- трудности при производстве присадочных материалов и выполнении условий поставки.

Кроме вышеуказанных недостатков, при неправильном подборе компонентов и наличии в них кристаллизационной воды возможно изменение влажности присадки при изменении температуры и влажности воздуха в летний период и период дождей.

Гигроскопичность присадочных материалов ( $G$ , %) вычисляли по формуле:

$$G=(m-m_1)\cdot 100/m_2,$$

где  $m$  – масса бюксы с противопопригарным присадочным материалом до высушивания, г;  $m_1$  – масса бюксы с противопопригарным присадочным материалом после высушивания, г;  $m_2$  – масса навески, г.

Чем меньше содержание нерастворимого остатка присадочного материала в воде, тем лучше происходит защита магниевого расплава в форме, так как присадочный материал, разлагаясь в форме при заполнении ее магниевым расплавом, образует защитную пленку, предотвращающую окисление расплава в форме. Чем больше нерастворимого остатка присадочного материала находится в воде, тем меньше он разлагается, его защитные свойства уменьшаются, что ухудшает качество поверхности и приводит к браку при кристаллизации отливки в форме [12, 13].

Определение содержания остатка (% по массе), нерастворимого в воде, выполняли следующим образом: навеску присадочного материала (г) помещали в стакан и растворяли в кипящей воде, хорошо перемешивая пробу. Затем раствор отфильтровывали через беззольный фильтр в мерную колбу. Нерастворимый остаток на фильтре промывали горячей водой, намывая объем фильтрата и промывных вод. Остаток с фильтром помещали в предварительно прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель, просушивали, сжигали и прокаливали при температуре 973–1073 К до постоянной массы. Массу нерастворимого остатка высчитывали в процентах от взятой навески (в пересчете на сухое вещество).

## Результаты

Проведен анализ патентной информации и технических справочных данных по материалам и продуктам, выпускаемым промышленностью, в результате которого выбрано более 40 материалов для исследования с целью использования их в качестве компонентов и активных добавок в противопопригарных присадочных композициях. В соответствии с техническими требованиями для производства разработанных ППМ должно использоваться отечественное доступное сырье. Противопопригарные присадочные материалы при добавке в формовочные смеси должны обеспечивать эффективную защиту от возгорания и окисления поверхности магниевых деталей при заливке расплава в формы.

В результате предварительной проработки для лабораторных исследований отобрано 25 соединений: карбамид, борная кислота, бура, метилцеллюлоза, сульфаты, аммонийные и углекислые соли. За основу взяты следующие компоненты:

– карбамид  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  – при температуре  $>373 \text{ K}$  гидратируется с выделением защитных газов аммиака ( $\text{NH}_3$ ) и углекислого газа ( $\text{CO}_2$ );

– борная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – восстанавливается магнием до металлического бора, образующего на поверхности магния защитный поверхностный слой в виде твердого раствора.

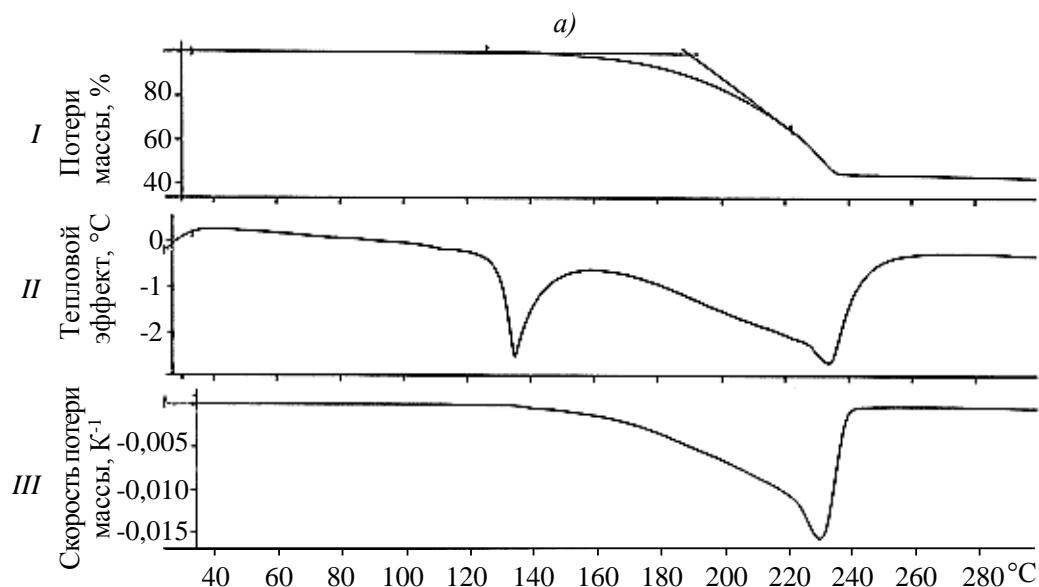
Исследованы технологические свойства выбранных составов: гранулометрический состав, влажность, нерастворимый остаток в воде, и разработаны технические условия [14, 15].

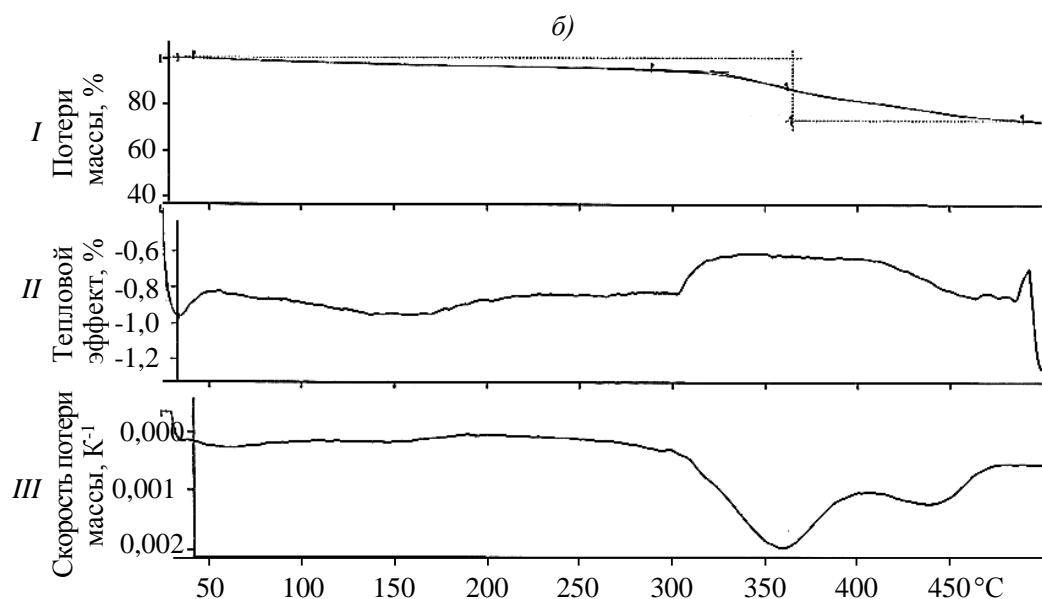
По результатам экспериментальных исследований гигроскопичности установлено, что разрабатываемые составы ППМ имеют меньшую в  $\sim 2$  раза влажность, чем присадка ВМ (поставляемая серийно) – 1,8–2% вместо 4%.

Для исследования защитных свойств (помимо заливки металла в формы и визуального контроля) проведен термогравиметрический анализ (ТГА) компонентов и ППМ. Преимущество термогравиметрического анализа заключается в возможности оценки защитных свойств состава образца непосредственно по кривой ТГА. Этот метод использован в работе для анализа деструкции отдельных компонентов и ППМ трех-, четырех-, пяти- и шестикомпонентных систем. При этом сделано допущение, что в процессе термической диссоциации между индивидуальными соединениями обменные реакции и сложные химические превращения практически не происходят.

Кривые ТГА имеют сложный вид и фиксируют значительное количество термических эффектов, сопровождающихся убылью массы. Чтобы разобраться в ходе термических превращений, методом ТГА изучена термическая стабильность ряда веществ, входящих в состав исследуемых образцов [16].

В качестве примера на рисунке приведены результаты ТГА карбамида и ППМ нового состава (борная кислота, карбамид, сульфаты, бура, метилцеллюлоза).





Результаты термогравиметрического анализа карбамида (*a*) и ППМ нового состава (*б*):  
*I* – зависимость потери массы образца от температуры нагрева; *II* – тепловой эффект (разность температур печи и эталонного образца); *III* – скорость потери массы, определяющая количество выделившихся летучих веществ при нагреве

На термограмме представлены:

- зависимость потери массы образца от температуры;
- тепловой эффект (разность температур печи и эталонного образца);
- скорость потери массы, определяющая количество выделившихся летучих веществ при нагревании.

По результатам ТГА показано, что ППМ, содержащие карбамид, борную кислоту, сульфаты, буру и метилцеллюлозу, подвергаются терморазложению при 80–800°C и, следовательно, обладают защитными свойствами при производстве отливок из магниевых сплавов.

На основании исследований и практического опыта были оптимизированы составы ППМ. Заключение о защитных противопригарных свойствах ППМ сделано после их опробования при добавке в формовочную смесь, изготовления из нее форм и заливки их магниевым расплавом с последующей оценкой качества поверхности детали и исследуемого образца.

Опробование и освоение разработанных ППМ проводили в заводских условиях на ряде предприятий отрасли [17–21].

## Обсуждение и заключения

Разработан температурно-временной режим термообработки одного из основных компонентов присадки, позволяющий полностью удалить из него кристаллизационную воду до образования безводной соли и обеспечивающий снижение гигроскопичности ППМ. Исследовано влияние технологических параметров изготовления присадок на гигроскопичность и установлено, что разработанные параметры (режим ТО, продолжительность дробления, рассеивания и смешивания) обеспечивают получение ППМ с пониженной гигроскопичностью. Термогравиметрическим методом определены температуры деструкции и газовой выделения разработанных ППМ, предотвращающие взаимодействие расплавленного магния с материалом формы и кислородом воздуха. Разработана опытно-промышленная технология производства ППМ. Установлено, что при введении в формовочную смесь разработанных ППМ и заливке форм магниевым расплавом различных систем (Mg–Al–Zn, Mg–Nd–Zr) в интервале 720–800°C обеспечивается получение качественного литья без следов горения, засоров и раковин [22]. На основании результатов исследований разработана нормативно-техническая документация (технические условия, технологическая рекомендация, технологическая инструкция, методический материал).

В ВИАМ разработаны, запатентованы и освоены в промышленности новые составы ППМ с пониженной гигроскопичностью (1–2,5% вместо 4–5%), обеспечивающие предотвращение возгорания отливок в песчано-глинистых формах, повышение чистоты поверхности отливок с  $R_z$  от 160–320 до 40–60 мкм, выход годных по структуре отливок до 85%. Противопригарные присадочные материалы применяются для получения качественного магниевого литья деталей ответственного назначения (турбин, корпусов вентиляторов, редукторов, генераторов, приборных рам, кронштейнеров и др.), которые используются в элементах конструкций ракетно-космической техники [23], агрегатов и двигателей вертолетов Ми-18, Ми-26, Ми-38, Ка-60, самолетов Ту-204, Ил-96-300М и энергетических установок.

В рамках научно-технической политики по стратегическому развитию в ВИАМ с 2002 г. реализуется предложенное академиком РАН Кабловым Е.Н. и поддержанное Президентом РФ Путиным В.В. направление создания в институтах малотоннажных высокотехнологичных производств материалов и компонентов. Разработана подпрограмма «Создание авиационно-космических материалов и развитие специальной металлургии России с учетом восстановления производства стратегических материалов и малотоннажной химии на 2005–2008 гг.». В 2003 г. в институте организован опытно-

промышленный участок по малотоннажному производству присадки марки ВМ-У, а 2009 г. – промышленный участок. В настоящее время объем производства присадки составляет 15 т/год [7].

Результаты работы внедрены на предприятиях авиакосмической промышленности: ЗАО «ЗЭМ РКК „Энергия им. С.П. Королева”» (г. Королев), НПО «Сатурн» (г. Рыбинск), ОАО «Роствертол» (г. Ростов-на-Дону), ОАО «ММП им. В.В. Чернышева» (г. Москва), ОАО «Корпорация „Иркут”» (г. Иркутск), ОАО «Улан-Удэнский авиационный завод» (г. Улан-Удэ), ОАО «КМПО» (г. Казань). За период с 2003 г. по сентябрь 2013 г. указанным заводам было поставлено 33895 кг присадки.

### Благодарности

Авторы выражают признательность за научную идею при выборе, опробовании и внедрении составов ППМ в заводских условиях на ряде предприятий отрасли В.В. Степанову и А.Д. Жирнову.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Корнышева И.С., Волкова Е.Ф., Гончаренко Е.С., Мухина И.Ю. Перспективы магниевых и литейных алюминиевых сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 212–222.
2. Каримова С.А., Павловская Т.Г. Разработка способов защиты от коррозии конструкций, работающих в условиях космоса // Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 02 (viam-works.ru).
3. Гончаренко Е.С., Трапезников А.В., Огородов Д.В. Литейные алюминиевые сплавы (к 100-летию со дня рождения М.Б. Альтмана) //Труды ВИАМ. 2014. №4. Ст. 02 (viam-works.ru).
4. Дуюнова В.А. Методы защиты магниевых сплавов в отечественном литейном производстве с 1930-х гг. до настоящего времени //Литейщик России. 2010. №10. С. 35–37.
5. Дуюнова В.А. Магниевые сплавы: научные исследования Центрального аэродинамического института и Всесоюзного института авиационных материалов. 1930–1935 гг. //История науки и техники. 2012. №10. С. 27–35.
6. Каблов Е.Н. Основные итоги и направления развития материалов для перспективной авиационной техники /В сб. 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007: Юбилейный науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 2007. С. 20–26.

7. 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.
8. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Редкие металлы и редкоземельные элементы – материалы современных и будущих высоких технологий //Труды ВИАМ. 2013. №2. Ст. 01 (viam-works.ru).
9. Каблов Е.Н. ВИАМ: продолжение пути //Наука в России. 2012. №3. С. 36–44.
10. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
11. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
12. Козлов И.А., Каримова С.А. Коррозия магниевых сплавов и современные методы их защиты //Авиационные материалы и технологии. 2014. №2. С. 15–20.
13. Корчагина В.А. Ради качества магниевых отливок //Инженерная газета. 2006. №33–34. С. 5.
14. Каблов Е.Н., Мухина И.Ю., Корчагина В.А. Присадочные материалы для формовочных смесей при литье магниевых сплавов //Литейное производство. 2007. №5. С. 15–18.
15. Дуюнова В.А., Мухина И.Ю., Уридия З.П. Новые противопопригарные присадочные материалы для литейных форм магниевых отливок //Литейное производство. 2009. №9. С. 18–21.
16. Антюфеева Н.В., Алексахин В.М., Железина Г.Ф., Столянков Ю.В. Методические подходы термоаналитических исследований для оценки свойств препрегов и углепластиков //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №4. С. 18–27.
17. Мухина И.Ю., Дуюнова В.А., Уридия З.П. Перспективные литейные магниевые сплавы //Литейное производство. 2013. №5. С. 2–5.
18. Дуюнова В.А., Гончаренко Н.С., Мухина И.Ю., Уридия З.П., Волкова Е.Ф. Научное наследие академика И.Н. Фридляндера. Современные исследования магниевых и литейных алюминиевых сплавов в ВИАМ //Цветные металлы. 2013. №9. С. 71–78.
19. Фролов А.В., Мухина И.Ю., Дуюнова В.А., Уридия З.П. Влияние технологических параметров плавки на структуру и свойства новых магниевых сплавов //Металлургия машиностроения. 2014. №2. С. 26–29.

20. Дуюнова В.А., Уридия З.П. Исследование воспламеняемости литейных магниевых сплавов системы Mg–Zn–Zr //Литейщик России. 2012. №11. С. 21–23.
21. Дуюнова В.А., Козлов И.А. Холоднотвердеющие формовочные смеси: перспективы использования при литье магниевых сплавов //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. №1. С. 41–43.
22. Антипов В.В., Вахромов Р.О., Дуюнова В.А., Ночовная Н.А. Материалы с высокой удельной прочностью на основе алюминия, магния, титана и технологии их переработки //Боеприпасы и спецхимия. 2013. №3. С. 51–55.
23. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.

#### REFERENCES LIST

1. Kornysheva I.S., Volkova E.F., Goncharenko E.S., Muhina I.Ju. Perspektivy magnievyh i litejnyh aljuminievyh splavov [Prospects of magnesium and cast aluminum alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 212–222.
2. Karimova S.A., Pavlovskaja T.G. Razrabotka sposobov zashhity ot korrozii konstrukcij, rabotajushhijh v uslovijah kosmosa [Development of methods of corrosion protection structures operating in the space environment] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 02 (viam-works.ru).
3. Goncharenko E.S., Trapeznikov A.V., Ogorodov D.V. Litejnye aljuminievye splavy (k 100-letiju so dnja rozhdenija M.B. Al'tmana) [Casting aluminum alloys (on the 100-th anniversary of M.B. Altman)] //Trudy VIAM. 2014. №4. St. 02 (viam-works.ru).
4. Dujunova V.A. Metody zashhity magnievyh splavov v otechestvennom litejnom proizvodstve s 1930-h gg. do nastojashhego vremeni [Methods of protection of magnesium alloys in the domestic foundry industry since the 1930's. far] //Litejshhik Rossii. 2010. №10. S. 35–37.
5. Dujunova V.A. Magnievye splavy: nauchnye issledovanija Central'nogo aerogidrodinamicheskogo instituta i Vsesojuznogo instituta aviacionnyh materialov. 1930–1935 gg. [Magnesium alloys: research Central hydrodynamic Institute and All-Union Institute of Aviation Materials. 1930–1935] //Istorija nauki i tehniki. 2012. №10. S. 27–35.
6. Kablov E.N. Osnovnye itogi i napravlenija razvitija materialov dlja perspektivnoj aviacionnoj tehniki [Main Results and directions of development of promising materials for aeronautical engineering] /V sb. 75 let. Aviacionnye materialy. Izbrannye trudy «VIAM» 1932–2007: Jubilejnyj nauch.-tehnič. sb. M.: VIAM. 2007. S. 20–26.

7. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 7–17.
8. Kablov E.N., Ospennikova O.G., Vershkov A.V. Redkie metally i redkozemel'nye jelementy – materialy sovremennyh i budushhih vysokih tehnologij [Rare metals and rare-earth elements – materials for current and future high-tech] //Trudy VIAM. 2013. №2. St. 01 (viam-works.ru).
9. Kablov E.N. VIAM: prodolzhenie puti [VIAM: continuation of the path] //Nauka v Rossii. 2012. №3. S. 36–44.
10. Kablov E.N. Sovremennye materialy – osnova innovacionnoj modernizacii Rossii [Modern materials - the basis of innovative modernization of Russia] //Metally Evrazii. 2012. №3. S. 10–15.
11. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemicals in aviation materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
12. Kozlov I.A., Karimova S.A. Korrozija magnievyh splavov i sovremennye metody ih zashhity [Corrosion of magnesium alloys, and modern methods of protection] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №2. S. 15–20.
13. Korchagina V.A. Radi kachestva magnievyh otlivok [For the sake of the quality of magnesium castings] //Inzhenernaja gazeta. 2006. №33–34. S. 5.
14. Kablov E.N., Muhina I.Ju., Korchagina V.A. Prisochnye materialy dlja formovochnyh smesej pri lit'e magnievyh splavov [Filler materials for molding compounds during casting of magnesium alloys] //Litejnoe proizvodstvo. 2007. №5. S. 15–18.
15. Dujunova V.A., Muhina I.Ju., Uridija Z.P. Novye protivoprigarnye prisochnye materialy dlja litejnyh form magnievyh otlivok [New antipenetration filler materials for molds magnesium castings] //Litejnoe proizvodstvo. 2009. №9. S. 18–21.
16. Antjufeeva N.V., Aleksashin V.M., Zhelezina G.F., Stoljankov Ju.V. Metodicheskie podhody termoanaliticheskikh issledovanij dlja ocenki svojstv prepregov i ugleplastikov [Methodological approaches thermoanalytical studies to evaluate the properties of the prepreg and carbon fiber reinforced plastics] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2012. №4. S. 18–27.
17. Muhina I.Ju., Dujunova V.A., Uridija Z.P. Perspektivnye litejnye magnievyje splavy [Prospective casting magnesium alloys] //Litejnoe proizvodstvo. 2013. №5. S. 2–5.

18. Dujunova V.A., Goncharenko N.S., Muhina I.Ju., Uridija Z.P., Volkova E.F. Nauchnoe nasledie akademika I.N. Fridljandera. Sovremennye issledovanija magnievyh i litejnyh aljuminievyh splavov v VIAM [Scientific Heritage of Academician I.N. Friedlander. Modern studies of magnesium and cast aluminum alloys in VIAM] //Cvetnye metally. 2013. №9. S. 71–78.
19. Frolov A.V., Muhina I.Ju., Dujunova V.A., Uridija Z.P. Vlijanie tehnologicheskikh parametrov plavki na strukturu i svojstva novykh magnievyh splavov [Effect of process parameters on the structure and melting properties of the novel magnesium alloys] //Metallurgija mashinostroenija. 2014. №2. S. 26–29.
20. Dujunova V.A., Uridija Z.P. Issledovanie vosplamenjaemosti litejnyh magnievyh splavov sistemy Mg–Zn–Zr [Investigation of the flammability of the casting of magnesium alloys Mg–Zn–Zr] //Litejshhik Rossii. 2012. №11. S. 21–23.
21. Dujunova V.A., Kozlov I.A. Holodnotverdejushhie formovochnye smesi: perspektivy ispol'zovanija pri lit'e magnievyh splavov [Cold-molding materials: prospects for the use in the casting of magnesium alloys] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2011. №1. S. 41–43.
22. Antipov V.V., Vahromov R.O., Dujunova V.A., Nochovnaja N.A. Materialy s vysokoj udel'noj prochnost'ju na osnove aljuminija, magnija, titana i tehnologii ih pererabotki [Materials with a high specific strength of the aluminum, magnesium, titanium, and processing technologies] //Boepripasy i spechimija. 2013. №3. S. 51–55.
23. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace Materials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2008. №3. S. 2–14.