



УДК 620.19:669.721.5

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-12-4-4

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ ИЗ МАГНИЕВЫХ
СПЛАВОВ И СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОТЛИВОК**

З.П. Уридия

кандидат технических наук

И.Ю. Мухина

кандидат технических наук

В.А. Дуюнова

кандидат технических наук

Е.И. Косарина

доктор технических наук

Декабрь 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 620.19:669.721.5

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-12-4-4

З.П. Уридия¹, И.Ю. Мухина¹, В.А. Дуюнова¹, Е.И. Косарина¹

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ И СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОТЛИВОК

Рассмотрены некоторые причины образования микрорыхлоты в отливках из магниевых сплавов. Исследованы детали различных конфигурации и габаритов с неодинаковой интенсивностью микрорыхлот. Анализ данных по исследованию деталей из сплава МЛ5 показал, что механические свойства отливок при установленном технологическом процессе производства зависят, главным образом, от толщины стенки испытываемой детали и от наличия микрорыхлот.

Установлено, что существенное значение имеет степень поражения микрорыхлотами испытываемого образца.

Разработана «Шкала микрорыхлот для отливок из магниевых сплавов МЛ5 и МЛ5п.ч.».

Шкала устанавливает зависимость между интенсивностью изображения микрорыхлоты при рентгеновском просвечивании отливки из сплава МЛ5 и механическими свойствами (пределом прочности и относительным удлинением) этой отливки по месту дефекта.

Предложены новые пропиточные составы Анакрол-90 и КП-ГС-55 для устранения микропор и восстановления герметичности отливок методом вакуум-давления.

Ключевые слова: *магниевые сплавы, шкала микрорыхлот, типовые эталоны рентгенограмм, микропоры, герметизация микропор, новые пропиточные составы.*

Z.P. Uridiya, I.Yu. Mukhina, V.A. Duyunova, E.I. Kosarina

QUALITY CONTROL OF MAGNESIUM ALLOY CASTING AND METHODS OF RESTORATION OF CAST PRODUCTS IMPERMEABILITY

Some of factors causing appearance of microporosity in magnesium alloy castings were researched. Many parts of different configuration and size with a variable degree of microporosity were studied. According to the analysis of data of ML5 alloy parts research, mechanical properties of castings in case of the steady production process depend, mainly, on the wall thickness of the tested part and on the microporosity degree.

The degree of damage caused by microporosity is of a major significance.

A scale of microporosity for castings made of ML5 and ML5c.p. magnesium alloys was created.

The scale determines the relation between the microporosity image intensity when ML5 alloy casting is being x-rayed and mechanical properties of the casting (ultimate strength and elongation) in the damaged area.

The new impregnation compounds Anakrol-90 and KP-GS55 for sealing of micropores and restoration of castings impermeability by vacuum-pressure method were suggested.

Keywords: *Magnesium alloys, scale of microporosity, standard reference radiographs, micropore, sealing of micropores, new impregnation compounds.*

¹Федеральное 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

Для успешной реализации стратегических направлений развития в области создания конструкций из материалов с низкой плотностью и стабильными прогнозируемыми характеристиками, а также их безопасной эксплуатации актуальными являются разработка и внедрение современных методов оценки качества литья и способов восстановления герметичности отливок с использованием материалов нового поколения [1–10].

Характерной особенностью промышленных литейных магниевых сплавов системы магний–алюминий–цинк (МЛ5 и МЛ5п.ч.) является склонность к образованию микрорыхлот [11–16].

При производстве крупно- и среднегабаритных отливок в зонах, имеющих значительное изменение сечений, могут иметь место микрорыхлоты. В технической доку-

ментации на литье наличие микрорыхлот предусматривается как допустимый дефект при условии сохранения механических свойств.

Обнаружить микрорыхлоты в отливках можно путем просмотра изломов деталей или образцов, исследования микро- и макроструктуры сплава [17–21]. Изучая излом детали, можно определить расположение микрорыхлот в отливке, их характер и интенсивность. Этот метод не может быть использован для массового контроля, так как для его проведения необходимо разрушение детали. Он может быть применен для выявления качества отливок при периодическом или выборочном контроле.

Исследование микро- и макроструктуры позволяет определить форму микрорыхлот и расположение их относительно кристаллизующихся в сплаве фаз, а также оценить интенсивность микрорыхлот.

Контроль методом рентгеновского просвечивания [22–24] позволяет определить положение и распределение микрорыхлот, не разрушая отливку, а также их характер и интенсивность, что весьма важно для использования этого метода как метода массового контроля.

Материалы и методы

Рентгеновский контроль проводили в соответствии с ОСТ1 90427 [25] и производственной инструкцией ПИ 1.2.226–2008 [26]. Режимы и параметры средств рентгеновского контроля четырех групп отливок из магниевых сплавов разрабатывали в соответствии с требованиями ПИ 1.2.226–2008.

Термическую обработку образцов, вырезанных из отливок, проводили по режиму T4 в соответствии с ОСТ1 90121 [27].

Механические свойства при растяжении (σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ) образцов, вырезанных из отливок, при комнатной температуре определяли в соответствии с ГОСТ 1497 [28].

Фрактографический анализ изломов образцов из сплава МЛ5 выполнен на электронном сканирующем микроскопе фирмы Jeol.

Результаты

При разработке «шкалы микрорыхлот» детали, имеющие микрорыхлоты, обнаруженные рентгенографическим методом, подвергали термообработке по стандартному режиму T4.

Участки, пораженные микрорыхлотами, и близлежащие «здоровые» зоны вырезали и проводили повторный рентгенографический контроль. Заготовки образцов для меха-

нических испытаний вырезали из бездефектных и дефектных фрагментов детали в двух направлениях (вдоль и поперек расположения слоев микрорыхлот). Изготовленные образцы подвергали рентгеновскому контролю для определения количества и расположения микрорыхлот в образце. После испытания изломы образцов тщательно изучали и определяли количество микрорыхлот (в процентах от площади сечения излома).

Полученные рентгеновские снимки разбивали на четыре группы в зависимости от радиационной толщины* отливки:

- I группа – более 30 мм;
- II группа – от 20 до 30 мм;
- III группа – от 10 до 20 мм;
- IV группа – от 4 до 10 мм.

Каждую группу классифицировали по интенсивности микрорыхлот (слабой, средней и сильной степени).

Установить строгую зависимость между микрорыхлотами и механическими свойствами (пределом прочности, относительным удлинением) при испытании при растяжении образцов, вырезанных из отливок, не представляется возможным. Прочностные характеристики отливки зависят не только от наличия или отсутствия микрорыхлот, но и от состава сплава, размера зерна, качества термической обработки, наличия в отливке других дефектов (например, шлаков) и ряда других причин.

С учетом вышеизложенного выяснения влияния микрорыхлот на механические свойства отливок исследовано большое количество деталей различных конфигурации и габаритов с неодинаковой интенсивностью микрорыхлот. Анализ данных по исследованию деталей из сплава МЛ5 показал, что механические свойства отливок при установленном технологическом процессе производства зависят, главным образом, от толщины стенки испытываемой детали и наличия микрорыхлот.

Испытание механических свойств позволило установить, насколько микрорыхлоты снижают механические свойства относительно «здоровых мест», т. е., что существенное значение имеет степень поражения микрорыхлотами испытываемого образца.

Разработана «Шкала микрорыхлот для отливок из магниевых сплавов МЛ5 и МЛ5п.ч.».

Шкала устанавливает зависимость между интенсивностью изображения микрорыхлоты при рентгеновском просвечивании отливки из сплава МЛ5 и механическими свойствами (пределом прочности и относительным удлинением) этой отливки по месту дефекта.

Данная шкала предлагается как эталон при оценке качества по результатам рентгеновского контроля отливок из сплавов МЛ5 и МЛ5п.ч., имеющих микрорыхлоты. Она состоит из 12 эталонных рентгенограмм с изображением образцов магниевых сплавов МЛ5 и МЛ5п.ч. Образцы выбраны из большого количества деталей различных размеров, с различными толщинами стенок и степенью поражения микрорыхлотами.

На эталонных рентгеновских снимках представлены изображения четырех групп отливок толщиной: более 30, 20–30, 10–20 и 4–10 мм (по три в каждой группе). На каждом из трех снимков, входящих в одну группу, представлено рентгенографическое изображение отливки с микрорыхлотой слабой, средней и сильной степени. Каждому изображению микрорыхлоты на рентгеновском снимке соответствует типичная для него микроструктура.

Для каждой степени микрорыхлот установлен разброс механических свойств (предела прочности) и построены кривые их распределения. В таблицах, помещенных совместно с кривыми распределения свойств, указан процент образцов, показавших соответствующие значения предела прочности.

Для отливок толщиной 4–30 мм, за исключением отливок толщиной более 30 мм, приведены значения механических свойств, полученных при испытании образцов, вырезанных поперек расположения слоев с микрорыхлотами.

* Под радиационной толщиной понимают толщину объекта контроля в направлении оси пучка рентгеновского излучения.

Образцы, вырезанные вдоль расположения слоев с микрорыхлотами, показывают, как правило, более высокое значение предела прочности, чем образцы, вырезанные поперек расположения слоев с микрорыхлотами.

Механические свойства (средние значения) отливок различных групп и интенсивности микрорыхлот приведены в таблице.

**Предел прочности и относительное удлинение деталей, пораженных микрорыхлотами
(средние значения)**

Толщина стенок	Механические свойства деталей	
	без микрорыхлот	с микрорыхлотами интенсивности

отливки, мм			слабой		средней		сильной	
	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %
4–10	215	7,5	185	5,5	180	4,0	165	2,5
10–20	200	6,8	175	5,0	160	3,8	145	3,1
20–30	190	5,2	165	3,5	150	3,2	125	2,2
Более 30	150	3,5	125	1,7	116	2,0	105	1,7

Сопоставление приведенных данных показывает, что механические свойства (предел прочности и относительное удлинение) отливок с тонким сечением стенок выше, чем механические свойства отливок с толстым сечением стенок, что объясняется различием в размерах зерна сплава.

Графики кривых частоты для предела прочности построены на основании испытаний – от 80 до 400 образцов на одну кривую.

Построить графики кривых частоты для относительного удлинения не удалось ввиду разброса данных, поэтому значения относительного удлинения выведены как среднее арифметическое из количества испытанных образцов.

При практическом применении «шкалы микрорыхлот» оценку микрорыхлоты в контролируемой отливке осуществляют следующим образом:

- из альбома шкалы выбирают рентгенограмму с изображением эталонных образцов, толщина которых составляет (1–1,2) от толщины контролируемой отливки;
- путем визуального сравнения изображений эталонных образцов шкалы и контролируемой отливки по их максимальному подобию устанавливают степень микрорыхлоты в объекте контроля.

Для данной группы интенсивности микрорыхлот (см. табл.) определяют средние механические свойства. Разброс значений свойств предусматривается соответствующими кривыми, представленными на рис. 1 (в зависимости от толщины детали). Полученные значения механических свойств сопоставляют с данными ТУ на отливку и принимают решение о ее годности.

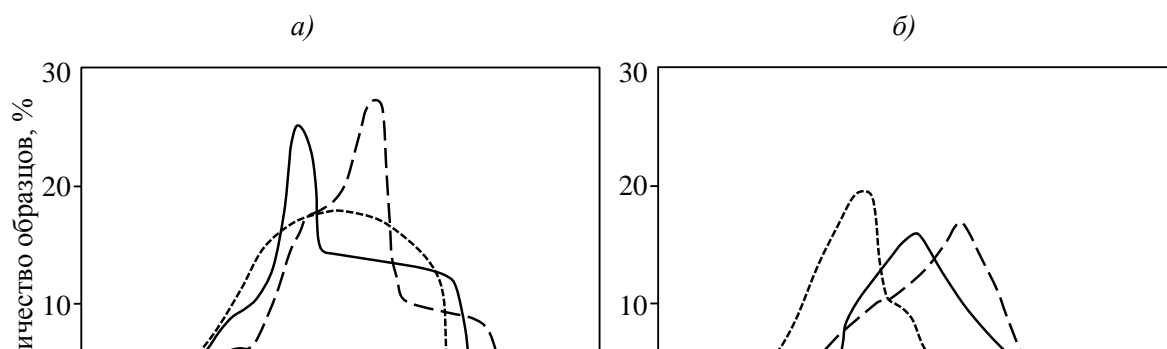


Рисунок 1. Кривые частоты для предела прочности для отливок с толщиной стенки более 30 (а); от 20 до 30 (б); от 10 до 20 (в) и от 4 до 10 мм (г) с интенсивностью микрорыхлоты: (---) – слабой; (—) – средней; (- - - -) – сильной

Для практического применения данной «шкалы микрорыхлот» необходимо, чтобы в ТУ на каждое изделие или деталь была регламентирована допустимая степень микрорыхлоты, либо конструктором или технологом предприятия, производящего продукцию, должны быть установлены разбраковочные нормы при контроле отливок.

Результаты фрактографического анализа изломов образцов, выполненного на электронном сканирующем микроскопе фирмы Jeol, представлены на рис. 2.

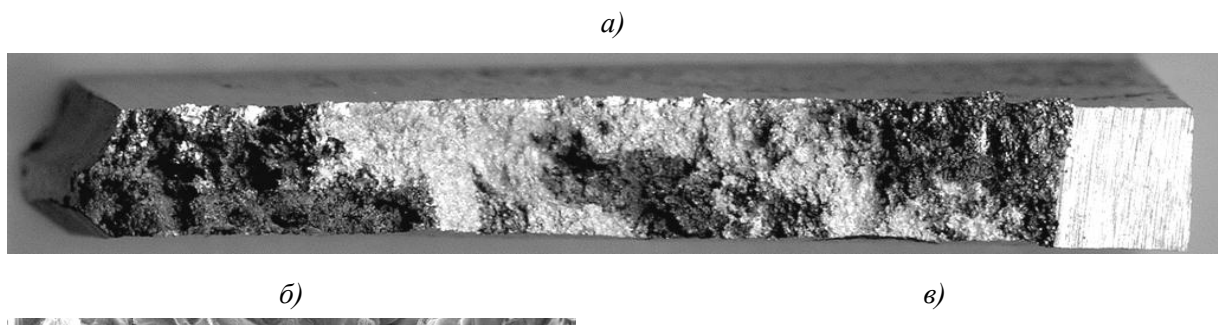


Рисунок 2. Внешний вид излома образца из сплава МЛ5:
а – общий вид излома ($\times 3,5$); *б* – микрорыхлота в изломе ($\times 200$); *в* – микрорыхлота в изломе ($\times 500$); *г* – пустоты между участками с микрорыхлотой ($\times 100$)

Способы восстановления герметичности отливок

Микропоры в литых заготовках и деталях могут приводить к ухудшению прочностных характеристик деталей и узлов машин, вплоть до их полной непригодности к эксплуатации.

Отливки с преобладанием сильной степени микрорыхлоты и других недопустимых дефектов подлежат переплаву, так как дефекты влияют на прочность и целостность изделия. Микропористость (наличие зон с микрорыхлотой слабой и средней степени) незначительно воздействует на эти параметры и подлежит устранению путем пропитки в соответствии ОСТ1 90248 [29]. Сложность решения этой задачи связана с тем, что на процесс устранения пор в отливках оказывают влияние много специфически значимых факторов. Практически могут быть устранены те поры, диаметр которых меньше их длины. В данном случае более успешно работают анаэробные герметики с низкой вяз-

костью, так как вязкость характеризует способность композиции заполнять поры. Например, размер пор, которые можно легко устранить в толстостенных отливках, может сильно отличаться от размеров пор в тонкостенных отливках. Это связано с тем, что «вымывание» герметика после процесса пропитки легче происходит из пор тонкостенных деталей [30]. При этом нужно учитывать скорость полимеризации, которая зависит от химического состава пропитываемого материала, продолжительности набора рабочей и полной прочности, а также размера и протяженности пор [31].

Из существующих методов пропитка методом вакуум-давления является наиболее эффективной благодаря тому, что создаваемое в автоклаве предварительное разрежение способствует более глубокому проникновению герметизирующего материала в поры отливки вследствие уменьшения возможного противодавления воздуха, оставшегося в порах после проверки герметичности. Вместе с тем уменьшается возможность искажения герметизирующей пробки в результате расширения этого воздуха при нагреве детали или образца в процессе отверждения герметизирующего состава.

Для устранения микропор в отливках из магниевых сплавов МЛ5 и МЛ5п.ч. разработаны технологические параметры герметизации пропиточными составами Анакрол-90 и КП-ГС-55, представляющими собой жидкие однородные композиции, стойкие при хранении к воздействию кислорода воздуха. Они способны к полимеризации в микродефектах с образованием твердого продукта, не вызывают снижения коррозионной стойкости и адгезии лакокрасочных покрытий.

Обсуждение и заключения

«Шкала микрорыхлот» внедрена в производство для неразрушающего контроля серийных отливок. Благодаря четкому разграничению микрорыхлот по степеням «рентгеновская шкала» удобна в работе.

С целью повышения эффективности и снижения трудоемкости процесса герметизации отливок из магниевых сплавов МЛ5 и МЛ5п.ч. рекомендуются при пропитке методом вакуум-давления эффективные пропиточные составы Анакрол-90 и КП-ГС-55.

Коллектив авторов выражает благодарность сотрудникам ФГУП «ВИАМ»: Н.А. Михайловой, принявшей участие в разработке режимов рентгеновского контроля отливок; Л.В. Морозовой за выполнение фрактографического анализа отливок. Благодарим также коллективы ООО «НПП „Сатурн”» (разработчики пропиточных составов марки «Анакрол») и ОАО «Дельтапласт» за сотрудничество в исследовании и отработ-

ке технологических процессов герметизации отливок новыми пропиточными составами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнышева И.С., Волкова Е.Ф., Гончаренко Е.С., Мухина И.Ю. Перспективы применения магниевых и литейных алюминиевых сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 212–222.
2. 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.
3. 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.
4. Каблов Е.Н. ВИАМ: продолжение пути //Наука в России. 2012. №3. С. 36–44.
5. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
6. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
7. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
8. Корчагина В.А. Ради качества магниевых отливок //Инженерная газета. 2006. №33–34. С. 5.
9. Садков В.В., Лапонов Ю.Л., Агеев А.П. и др. Перспективы и условия применения магниевых сплавов в самолетах ОАО «Туполев» //Металлургия машиностроения. 2007. №4. С. 19–23.
10. 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.
11. Мухина И.Ю., Уридия З.П. Магний – основа сверхлегких материалов // Металлургия машиностроения. 2005. №6. С. 29–31.
12. 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.

13. Дуюнова В.А., Мухина И.Ю., Уридия З.П. Новые противопригарные присадочные материалы для литейных форм магниевых отливок //Литейное производство. 2009. №9. С. 18–21.
14. Мухина И.Ю., Дуюнова В.А., Уридия З.П. Перспективные литейные магниевые сплавы //Литейное производство. 2013. №5. С. 2–5.
15. Дуюнова В.А., Гончаренко Н.С., Мухина И.Ю. и др. Научное наследие академика И.Н. Фридляндера. Современные исследования магниевых и литейных алюминиевых сплавов в ВИАМ //Цветные металлы. 2013. №9. С. 71–78.
16. 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.
17. Мухина И.Ю. Литейные сплавы и техпроцессы при производстве магниевых отливок //Литейное производство. 2003. №4. С. 18–19.
18. 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).
19. Мельников Н.А. Об образовании газовой пористости в отливках из алюминиевых и магниевых сплавов //Литейное производство. 2006. №2. С. 4.
20. Альтман М.Б. и др. Магниевые сплавы: Справочник. М.: Metallurgia. 1978. Т. 2. С. 147.
21. Уридия З.П., Мухина И.Ю. Новые пропитывающие материалы для герметизации отливок из алюминиевых и магниевых сплавов //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. №8. С. 37–41.
22. Уридия З.П., Мухина И.Ю. О герметизации отливок из алюминиевых и магниевых сплавов //Литейное производство. 2012. №2. С. 14–16.
23. Шишкарева Л.М., Кузьмина Н.А. Обзор методик определения качества структуры монокристаллических отливок жаропрочных сплавов //Труды ВИАМ. 2014. №1. Ст. 06 (viam-works.ru).
24. Постнов В.И., Бурхан О.Л., Рахматуллин А.Э., Качура С.М. Неразрушающие методы контроля содержания связующих в препрегах и ПКМ (обзор) //Труды ВИАМ. 2013. №12. Ст. 06 (viam-works.ru).

25. Мурашов В.В. Неразрушающий контроль заготовок и деталей из углерод-углеродного композиционного материала для многоразового космического корабля «Буран» //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 05 (viam-works.ru).
26. ОСТ1 90427–94. Качество продукции. Неразрушающий контроль литых деталей и полуфабрикатов авиационной техники из алюминиевых и магниевых сплавов радиографическим методом. Общие положения.
27. ПИ 1.2.226–2008 Неразрушающий контроль (НК) металлических изделий рентгеновскими методами.
28. ОСТ1 90121–90 Магниевые литейные сплавы. Режимы термической обработки.
29. ГОСТ 1497–84 Металлы. Методы испытания на растяжение.
30. ОСТ1 90248–77 Отливки фасонные из магниевых сплавов. Общие технические требования.
31. Москвичев А.Н. Герметизация пор в литых заготовках и изделиях порошковой металлургии //Клеи. Герметики. Технологии. 2005. №1. С. 12.
32. Гуров А.А. Анаэробные герметизирующие материалы «АНАТЕРМ» //Клеи. Герметики. Технологии. 2004. №5. С. 14.

REFERENCES LIST

1. Kornysheva I.S., Volkova E.F., Goncharenko E.S., Muhina I.Ju. Perspektivy primeneniya magnievyh i litejnyh aljuminievyh splavov [Prospects for the use of magnesium and aluminum foundry alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 212–222.
2. Kablov E.N. Osnovnye itogi i napravlenija razvitija materialov dlja perspektivnoj aviacionnoj tehniki [The main results and directions of development of promising materials for aircraft equipment] /V sb. 75 let. Aviacionnye materialy. Izbrannye trudy «VIAM» 1932–2007: Jubilejnyj nauch.-tehnich. sb. M.: VIAM. 2007. S. 20–26.
3. 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 on the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 7–17.
4. Kablov E.N. VIAM: prodolzhenie puti [VIAM: continuation of the path] //Nauka v Rossii. 2012. №3. S. 36–44.
5. 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.

6. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemistry aviation materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
7. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace Materials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2008. №3. S. 2–14.
8. Korchagina V.A. Radi kachestva magnievyh otlivok [For the sake of the quality of magnesium castings] //Inzhenernaja gazeta. 2006. №33–34. S. 5.
9. Sadkov V.V., Laponov Ju.L., Ageev A.P. i dr. Perspektivy i uslovija primenenija magnievyh splavov v samoletah OAO «Tupolev» [Prospects and conditions of use of magnesium alloys in aircraft JSC "Tupolev"] //Metallurgija mashinostroenija. 2007. №4. S. 19–23.
10. 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 high specific resistance, based on aluminum, magnesium, titanium, and processing technologies] //Boepripasy i spechimija. 2013. №3. S. 51–55.
11. Muhina I.Ju., Uridija Z.P. Magnij – osnova sverhlegkih materialov [Magnesium – the basis of ultra-light materials] //Metallurgija mashinostroenija. 2005. №6. S. 29–31.
12. Dujunova V.A. Metody zashhity magnievyh splavov v otechestvennom litejnom proizvod-stve s 1930-h gg. do nastojashhego vremeni [Methods of protection of magnesium alloys in the domestic foundry with the 1930s. up to date] //Litejshhik Rossii. 2010. №10. S. 35–37.
13. Dujunova V.A., Muhina I.Ju., Uridija Z.P. Novye protivoprigarnye prisadochnye materialy dlja litejnyh form magnievyh otlivok [New antiscorching filler materials for molds magnesium castings] //Litejnoe proizvodstvo. 2009. №9. S. 18–21.
14. Muhina I.Ju., Dujunova V.A., Uridija Z.P. Perspektivnye litejnye magnievyje splavy [Prospective casting magnesium alloys] //Litejnoe proizvodstvo. 2013. №5. S. 2–5.
15. Dujunova V.A., Goncharenko N.S., Muhina I.Ju. i dr. 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 VIAM] //Cvetnye metally. 2013. №9. S. 71–78.
16. Frolov A.V., Muhina I.Ju., Dujunova V.A., Uridija Z.P. Vlijanie tehnologicheskikh parametrov plavki na strukturu i svojstva novyh magnievyh splavov [Effect of process parameters on the structure and melting properties of the novel magnesium alloys] //Metallurgija mashinostroenija. 2014. №2. S. 26–29.

17. Muhina I.Ju. Litejnye splavy i tehprocessy pri proizvodstve magnievyh otlivok [Casting alloys and process technologies in the production of magnesium castings] //Litejnoe proizvodstvo. 2003. №4. S. 18–19.
18. 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 (for 100-th anniversary of the birth MB Altman)] //Trudy VIAM. 2014. №4. St. 02 (viam-works.ru).
19. Mel'nikov N.A. Ob obrazovanii gazovoj poristosti v otlivkah iz aljuminievyh i magnievyh splavov [On the Formation of gas porosity in the casting of aluminum and magnesium alloys] //Litejnoe proizvodstvo. 2006. №2. S. 4.
20. Al'tman M.B. i dr. Magnievye splavy [Magnesium alloys]: Spravochnik. M.: Metallurgija. 1978. T. 2. S. 147.
21. Uridija Z.P., Muhina I.Ju. Nove propityvajushhie materialy dlja germetizacii otlivok iz aljuminievyh i magnievyh splavov [New materials for impregnating the sealing castings from aluminum and magnesium alloys] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2011. №8. S. 37–41.
22. Uridija Z.P., Muhina I.Ju. O germetizacii otlivok iz aljuminievyh i magnievyh splavov [About sealing castings of aluminum and magnesium alloys] //Litejnoe proizvodstvo. 2012. №2. S. 14–16.
23. Shishkareva L.M., Kuz'mina N.A. Obzor metodik opredelenija kachestva struktury monokristallicheskih otlivok zharoprochnyh splavov [Review of methods for determining the quality of the structure of single crystal castings of superalloys] //Trudy VIAM. 2014. №1. St. 06 (viam-works.ru).
24. Postnov V.I., Burhan O.L., Rahmatullin A.Je., Kachura S.M. Nerazrushajushhie metody kontrolja sodержaniya svjazujushhij v prepregah i PKM (obzor) [Non-destructive testing binder content of the prepregs and RMB (review)] //Trudy VIAM. 2013. №12. St. 06 (viam-works.ru).
25. Murashov V.V. Nerazrushajushhij kontrol' zagotovok i detalej iz uglerod-uglerodnogo kompozicionnogo materiala dlja mnogorazovogo kosmicheskogo korablja «Buran» [Non-destructive testing of blanks and components made of carbon-carbon composite material for the space shuttle "Buran"] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 05 (viam-works.ru).
26. OST1 90427–94. Kachestvo produkcii. Nerazrushajushhij kontrol' lityh detalej i polufabrikatov aviacionnoj tehniki iz aljuminievyh i magnievyh splavov radiograficheskim metodom. Obshhie polozhenija [Quality products. Nondestructive testing of cast parts and

semi-finished aeronautical engineering from aluminum and magnesium alloys by radiography. General provisions].

27. PI 1.2.226–2008 Nerazrushajushhij kontrol' (NK) metallicheskih izdelij rentgenovskimi metodami [Non-destructive testing (NDT) of metal products X-ray methods].
28. OST1 90121–90 Magnievye litejnye splavy. Rezhimy termicheskoj obrabotki [Magnesium casting alloys. Heat treatment].
29. GOST 1497–84 Metally. Metody ispytanija na rastjazhenie [Metals. Test Methods Tensile].
30. OST1 90248–77 Otlivki fasonnye iz magnievych splavov. Obshhie tehniczeskie trebovanija [Casting shapes, of magnesium alloys. General specifications].
31. Moskvicev A.N. Germetizacija por v lityh zagotovkah i izdelijah poroshkovoju metallurgii [Sealing of the pores in the cast billets and powder metallurgy products] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2005. №1. S. 12.
32. Gurov A.A. Anajerobnye germetizirujushhie materialy «ANATERM» [Anaerobic sealants "Anaterm"] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2004. №5. S. 14.