



УДК 629.7.023

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-9-9

**ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ
НА МАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ**

С.А. Каримова

кандидат технических наук

И.А. Козлов

И.А. Волков

Сентябрь 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.

С.А. Каримова¹, И.А. Козлов¹, И.А. Волков¹

ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА МАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ

Исследована эффективность повышения защитных свойств неметаллических неорганических покрытий на магниевых сплавах путем пропитки эпоксидно-полиамидными лаками и анаэробной композицией, а также эффективность различных способов пропитки (вакуумная пропитка, окунание, нанесение кистью) и возможность применения доступных пропиточных материалов.

Показана эффективность технологий пропитки неметаллических неорганических покрытий на деталях из магниевых сплавов.

Для определения защитных свойств пропитанных по различным технологиям покрытий использованы следующие методы: гравиметрический, погружение в раствор NaCl, экспозиция в камере тропического климата.

Ключевые слова: *хроматирование, анодное оксидирование, анодно-оксидные покрытия, пропитка, магниевые сплавы.*

S.A. Karimova, I.A. Kozlov, I.A. Volkov

INCREASE OF PROTECTIVE PROPERTIES OF NONMETALLIC INORGANIC COATINGS ON MAGNESIUM ALLOYS

The efficiency to improve protective properties of inorganic non-metallic coatings applied on magnesium alloys by impregnation with organic compounds (polyamide lacquers and anaerobic compositions) was investigated. The efficiency of different impregnation methods – vacuum impregnation, dipping, application with a brush, as well as the possibility of using available impregnating materials were studied.

The efficiency of the impregnation of non-metallic inorganic coatings on parts made of magnesium alloys was shown.

Different methods such as gravimetric, immersion in NaCl solution, exposure in tropical climate chamber was used to determine protective properties of coatings.

Keywords: *chromatization, anodic oxidation, anode oxide coatings, impregnation, magnesium alloys.*

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

Роль металлов как основного авиационного материала в ближайшем будущем, очевидно, будет сохраняться несмотря на увеличение в конструкциях доли композиционных материалов. Необходимо отметить, что в последние десятилетия наблюдается тенденция использования в современной технике металлов с высокой удельной прочностью, к которым следует отнести и такой металл, как магний [1–3].

За последнее время в отечественных и зарубежных научных учреждениях повысился интерес к магниевым сплавам, что подтверждается возросшим объемом научных работ, посвященных изучению структуры и свойств магния и его сплавов [4–8], разработке новых сплавов [9–12], усовершенствованию и разработке новой технологии получения магниевых сплавов [13–15], разработке систем защиты от коррозии [16–22]. Для защиты от коррозии используются неметаллические неорганические покрытия в сочетании с лакокрасочными. Одним из способов усовершенствования неметаллических неорганических покрытий является повышение их защитных свойств путем заполнения пор, имеющихся в покрытии, различными неорганическими соединениями, ингибиторами, органическими соединениями и т. п.

В отечественной практике известна эффективность вакуумной обработки химических и анодно-оксидных покрытий на деталях из магниевых сплавов эпоксидно-полиамидным лаком [23]. Вакуумный способ пропитки достаточно трудоемкий и трудноосуществимый для крупногабаритных деталей, поэтому необходимо проверить эффективность применения других, более простых способов пропитки – окунания, нанесения кистью.

Материалы и методы

Исследование проводили на сплаве МЛ10 в термообработанном состоянии по режиму Т6, прессованном сплаве МА14 и сплаве МЛ5 в состоянии Т4.

Хроматирование проводили в ванне состава: 100 г/л $K_2Cr_2O_7$, 50 г/л $MgSO_4$, 50 г/л $(NH_4)_2SO_4$ – в течение 15 мин при температуре 30°C.

Анодно-оксидное покрытие толщиной 14–20 мкм получали во фторидно-хроматно-фосфатном электролите по ОСТ 92-4924–84.

Для обработки использовали эпоксидные лаки ЭП-541, ЭП-075 и анаэробную композицию ВАК-5Б горячего отверждения. Пропитку проводили методами окунания, нанесения кистью и в вакуумной цеховой установке по ОСТ 92-1710–81. Перед пропиткой образцы с анодно-оксидным и хроматным покрытиями просушивали при температуре $120 \pm 10^\circ C$ в течение 1 ч и охлаждали до $30 \pm 5^\circ C$, после чего помещали в бачок

и заливали пропиточным материалом, затем в пропиточной вакуумной установке вакуумировали по режиму:

- остаточное давление – до 0,1–1 МПа;
- выдержка в течение 15–20 мин при температуре $25 \pm 5^\circ\text{C}$;
- остаточное давление резко снижается и доводится до нормального давления;
- выдержка в течение 30 мин при температуре $2 \pm 5^\circ\text{C}$.

Данный цикл повторяли 2 раза, затем каждый образец протирали от излишков пропиточного материала сухими хлопчатобумажными салфетками.

Пропитку методом окунания проводили следующим образом: образец погружали в пропиточный лак целиком, выдерживали в течение 5 мин и тщательно протирали хлопчатобумажными салфетками для удаления излишков пропиточного лака.

Обработку кистью проводили следующим образом: пропиточный лак наносили кистью на одну сторону и торцы образца, через 5 мин излишки лака удаляли и лак наносили кистью на другую сторону образца, через 5 мин излишки удаляли.

Все образцы после обработки просушивали по режиму:

- при температуре $25\text{--}30^\circ\text{C}$ в течение 2 ч;
- при температуре 160°C в течение 5–6 ч.

Защитные свойства химического и анодно-оксидного покрытий, обработанных лаками, определяли при погружении в 0,5 и 0,005 н. растворы NaCl и в камере искусственного тропического климата.

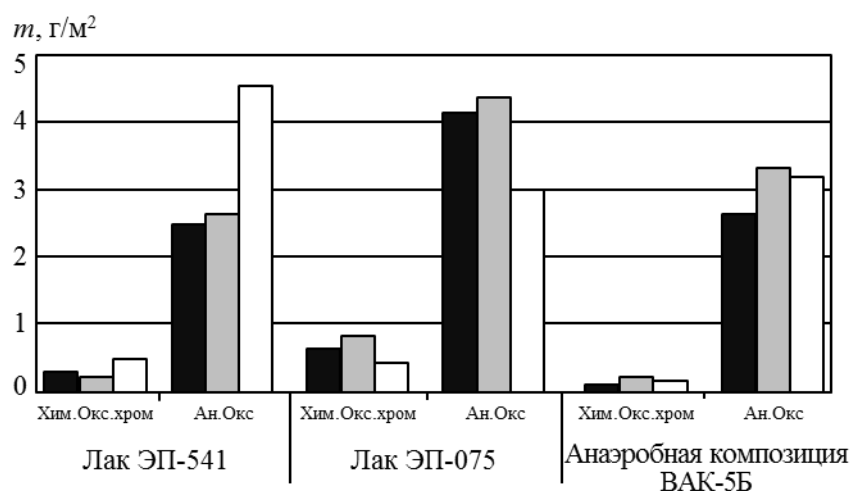
Оценку защитных свойств при испытаниях в растворах NaCl проводили по количеству выделившегося водорода и по потере массы, в условиях искусственного тропического климата – визуально по внешнему виду и по потере массы.

При обработке лаками неметаллических неорганических покрытий – химических и анодно-оксидных – происходит частичное заполнение пор в покрытии и образование на поверхности тонкого слоя лака, толщина которого зависит от способа обработки и способа удаления пропиточного лака с поверхности образца. Качество заполнения пор в покрытии и толщина слоя пропиточного лака на поверхности неметаллического неорганического покрытия зависят также от природы пропиточного материала и могут характеризоваться массой поглощенного пропиточного материала, т. е. изменением массы образцов с покрытием до и после обработки.

Результаты

На диаграмме (см. рисунок) приведены данные по массе поглощенного пропиточного материала в зависимости от типа неметаллического неорганического покрытия, про-

питочного материала и способа обработки. Видно, что при обработке эпоксидным лаком ЭП-541 химического (Хим.Окс.хром) покрытия масса поглощенного пропиточного материала составляет 0,22–4,52 г/м², при пропитке анодно-оксидного (Ан.Окс) покрытия: 2,5–4,52 г/м², причем наибольший привес образцов как с химическим, так и с анодно-оксидным покрытием наблюдается при нанесении лака кистью.



Масса поглощенного покрытием пропиточного материала (m) в зависимости от типа покрытия и способа обработки сплава МЛ10 – с применением пропитки в вакууме (■), окунанием (▣), нанесением кистью (□)

При применении для пропитки эпоксидного лака ЭП-075 масса поглощенного химическим покрытием лака составляет 0,42–0,81 г/м², а анодно-оксидным: 3,05–4,40 г/м², причем наибольший привес имеют образцы как хромированные, так и анодно-оксидированные, пропитанные методом окунания.

При пропитке анаэробной композицией ВАК-5Б поглощение пропиточного материала химическим покрытием составляет 0,12–0,23 г/м², анодно-оксидным: 2,65–3,34 г/м², причем наибольший привес образцов, независимо от типа покрытия (химическое или анодно-оксидное), наблюдается при пропитке методом окунания.

Из приведенных результатов следует, что масса поглощенного пропиточного материала анодно-оксидным покрытием в ~10 раз больше, чем химическим покрытием. Это связано с большей толщиной и пористостью анодно-оксидного покрытия и более высокой шероховатостью поверхности.

В табл. 1 приведены данные по влиянию обработки химического и анодно-оксидного покрытий эпоксидными лаками ЭП-541, ЭП-075 и анаэробной композицией ВАК-5Б на защитные свойства покрытий в 0,005 н. растворе NaCl.

Таблица 1

Влияние обработки химического и анодно-оксидного покрытий лаками и анаэробной композицией на количество выделившегося водорода и потери массы образцов из сплава МЛ10

Пропитывающий состав	Покрытие	Метод пропитки	Количество выделившегося H_2 в течение 21 сут, $см^3/см^2$	Потери массы за 21 сут, $г/м^2$
В исходном состоянии	Без покрытия Хим.Окс.хром Ан.Окс	Без пропитки	0,544	–
		То же	0,469	0,0035
		–«–	0,190	0,0080
Лак ЭП-541	Хим.Окс.хром	Вакуумирование	0,040	0,0002
		Обработка кистью	0,053	0,0003
		Окувание	0,040	0,0004
	Ан.Окс	Вакуумирование	0,438	0,0022
		Обработка кистью	0,305	0,0028
		Окувание	0,570	0,0027
Лак ЭП-075	Хим.Окс.хром	Вакуумирование	0,044	0,0004
		Обработка кистью	0,040	0,0003
		Окувание	0,035	0,0001
	Ан.Окс	Вакуумирование	0,321	0,0041
		Обработка кистью	0,117	0,0015
		Окувание	0,298	0,0021
Анаэробная композиция ВАК-5Б	Хим.Окс.хром	Вакуумирование	0,305	0,0024
		Обработка кистью	0,212	0,0027
		Окувание	0,371	0,0026
	Ан.Окс	Вакуумирование	0,150	0,0071
		Обработка кистью	0,325	0,0172
		Окувание	0,305	0,0183

При оценке результатов, которые представлены в табл. 2 и 3, следует учитывать возможную различную степень водородной поляризации химического и анодно-оксидного покрытий, т. е. соотношение водородной и кислородной долей поляризации образцов с этими покрытиями, а также частичный съем химического и анодного покрытия при удалении продуктов коррозии в растворе хромового ангидрида.

Как следует из данных табл. 2 при обработке химического покрытия лаком ЭП-541 наблюдается значительное повышение защитных свойств покрытия: количество выделившегося водорода за 21 сут на хромированных образцах с пропиткой составляет 0,040–0,053 $см^3/см^2$, потери массы: 0,0002–0,0004 $г/м^2$; на хромированных образцах без последующей обработки: 0,469 $см^3/см^2$ и 0,0035 $г/м^2$ соответственно, т. е. при обработке защитные свойства химического покрытия увеличиваются в 9–17 раз.

Аналогичные результаты по эффективности повышения защитных свойств химического покрытия получены и при применении обработки лаком ЭП-075.

Обработка анаэробной композицией ВАК-5Б горячего отверждения менее эффективна – защитные свойства химического покрытия повышаются в 1,5–2 раза; за 21 сут испытаний количество выделившегося водорода составляет в зависимости от способа пропитки 0,212–0,371 $см^3/см^2$, потери массы 0,0024–0,0027 $г/м^2$.

При испытании в 0,005 н. растворе NaCl анодно-оксидного покрытия, обработанного лаком ЭП-541, также наблюдается повышение защитных свойств покрытия. Эффективность защиты анодно-оксидным покрытием повышается в несколько раз, независимо от способа обработки – вакуумирование, окунание или обработка кистью. Потери массы за 21 сут испытаний на анодно-оксидированных образцах с обработкой лаком составляют 0,0022–0,0028 г/м², на анодно-оксидированных образцах без обработки 0,0080 г/м².

Аналогичные результаты получены и при обработке анодно-оксидного покрытия лаком ЭП-075, однако потери массы образцов в процессе испытаний меньше, чем в случае применения лака ЭП-541, и составляют в зависимости от способа обработки – вакуумирование, окунание или обработка кистью – соответственно 0,0041, 0,0021 и 0,0015 г/м² (см. табл. 2), причем, как следует из результатов испытаний, не всегда вакуумная обработка оказывается наиболее эффективной. Очевидно, что на защитные свойства покрытия после его обработки – кроме защитных свойств лака – оказывают влияние и методы обработки лаком.

При обработке анодно-оксидного покрытия анаэробной композицией повышение защитных свойств наблюдается только в случае вакуумной обработки.

После испытаний в 0,005 н. растворе NaCl в течение 21 сут образцы как с химическим, так и с анодно-оксидными покрытиями, обработанные эпоксидными лаками ЭП-541 и ЭП-075, по внешнему виду практически не изменились независимо от метода обработки. На образцах, обработанных анаэробной композицией ВАК-5Б, покрытие как химическое, так и анодно-оксидное отсутствует, аналогичное явление наблюдается и на образцах без обработки покрытий пропиточными материалами.

В табл. 2 приведены данные по влиянию обработки лаком на защитные свойства химических и анодно-оксидных покрытий теми же пропиточными материалами, что и при испытании в 0,5 н. растворе NaCl.

При обработке химического покрытия эпоксидными лаками ЭП-541 и ЭП-075 защитные свойства повышаются в 3–5 раз. При обработке анодно-оксидных покрытий этими же лаками защитные свойства этого покрытия повышаются в 2–3 раза. Обработка анаэробной композицией ВАК-5Б практически не повышает защитные свойства химического покрытия, а для анодно-оксидного покрытия наблюдается даже снижение защитных свойств по сравнению с защитными свойствами покрытия без пропитки.

При испытании в 0,5 н. растворе NaCl, также как и в 0,005 н. растворе, на поверхности раствора, в котором испытывали образцы с анодно-оксидным покрытием, приблизительно через 10–15 сут появляются белые мелкие частицы – очевидно, частицы

отслоившегося лака. При испытании образцов с химическим покрытием такие частицы не появляются.

Таблица 2

Влияние обработки лаками ЭП-541, ЭП-075 и анаэробной композицией ВАК-5Б химического и анодно-оксидного покрытий на количество выделившегося водорода и потери массы образцов из сплава МЛ10 в течение 16 сут

Пропитывающий состав	Покрытие	Метод пропитки	Количество выделившегося H_2 в течение 16 сут, $см^3/см^2$	Потери массы за 21 сут, $г/м^2$
В исходном состоянии	Без покрытия	Без пропитки	–	0,0095
	Хим.Окс.хром	То же	1,941	0,0026
	Ан.Окс	–«–	–	0,0059
Лак ЭП-541	Хим.Окс.хром	Вакуумирование	0,243	0,0006
		Обработка кистью	0,256	0,0005
		Окувание	0,237	0,0006
	Ан.Окс	Вакуумирование	0,703	0,0025
		Обработка кистью	0,314	0,0018
		Окувание	0,893	0,0033
Лак ЭП-075	Хим.Окс.хром	Вакуумирование	0,327	0,0010
		Обработка кистью	0,557	0,0011
		Окувание	0,570	0,0011
	Ан.Окс	Вакуумирование	0,281	0,0012
		Обработка кистью	0,575	0,0019
		Окувание	0,725	0,0019
Анаэробная композиция ВАК-5Б	Хим.Окс.хром	Вакуумирование	0,769	0,0021
		Обработка кистью	0,729	0,0021
		Окувание	0,637	0,0021
	Ан.Окс	Вакуумирование	2,042	0,0071
		Обработка кистью	1,684	0,0086
		Окувание	2,294	0,0173

При испытаний в 0,5 н. растворе NaCl в течение 16 сут на образцах, обработанных лаками ЭП-541 и ЭП-075, на хромированных и анодно-оксидированных образцах имеются коррозионные поражения (на хромированных образцах площадь коррозионных поражений больше).

Химические и анодно-оксидные покрытия, обработанные анаэробной композицией ВАК-5Б, после испытания в 0,5 н. растворе NaCl разрушались и осыпались: химические – полностью, анодно-оксидные – частично (сохранились только на образцах, обработанных методом окувания и кистью).

В табл. 3 приведены результаты коррозионных испытаний образцов из сплава МЛ10 с химическим и анодно-оксидным покрытиями, обработанными лаками ЭП-541 и ЭП-075, в условиях искусственного тропического климата в течение 230 сут. После испытания поверхность образцов блестящая, налет коррозии поверхностный, незначительный и составляет ~1–3%. Изменение массы образцов (без удаления продуктов коррозии) за 230 сут составляет $+0,0022 \div +0,0038$ г/($м^2 \cdot сут$).

Таблица 3

Влияние обработки эпоксидными лаками ЭП-541 и ЭП-075 на защитные свойства химического и анодно-оксидного покрытий на образцах из сплава МЛ10 в условиях искусственного тропического климата в течение 230 сут

Пропитывающий состав	Покрытие	Метод пропитки	Изменение массы образцов за 230 сут, г/(м ² ·сут)
В исходном состоянии	Хим.Окс.хром	Без пропитки	+0,0704
	Ан.Окс	То же	+0,2189
Лак ЭП-541	Хим.Окс.хром	Вакуумирование	+0,0038
		Окунание	+0,0022
	Ан.Окс	Обработка кистью	+0,0030
		Вакуумирование	-0,3751
		Окунание	+0,0150
		Обработка кистью	-0,0099
Лак ЭП-075	Хим.Окс.хром	Вакуумирование	+0,0034
		Окунание	+0,0018
	Ан.Окс	Обработка кистью	+0,0048
		Вакуумирование	-0,0008
		Окунание	-0,0114
		Обработка кистью	+0,0149

Обработка лаком ЭП-541 независимо от способа обработки – вакуумирование, окунание или обработка кистью – значительно повышает защитные свойства химического покрытия.

Аналогичный эффект получен и при обработке химического покрытия лаком ЭП-075. После коррозионных испытаний поверхность образцов практически не изменилась – сохранился блеск, присущий пропитанному химическому покрытию, коррозия незначительная – в виде легкого налета на ~3–7% поверхности, изменение массы образцов небольшое и составляет $+0,0018 \div 0,0038$ г/(м²·сут). Как показали испытания в условиях искусственного тропического климата изменение массы образцов с химическим покрытием, обработанным лаками ЭП-541 и ЭП-075, в 15–38 раз меньше, чем на образцах без обработки лаками.

При обработке анодно-оксидного покрытия лаками ЭП-541 и ЭП-075 защитные свойства покрытия значительно повышаются. За указанный срок испытаний на образцах имеется поверхностный коррозионный налет бело-серого цвета, занимающий ~3–15% поверхности образцов. На образцах с анодно-оксидным покрытием без обработки лаком наблюдается серый налет продуктов коррозии на 60–80% поверхности образцов.

Обсуждение и заключения

1. При обработке (пропитке) лаками и анаэробной композицией различными методами (вакуумирование, обработка кистью, окунание) хромированных и анодно-оксидированных магниевых сплавов защитные свойства их заметно повышаются, что

связано с образованием на поверхности тонкой пленки лака и частичным заполнением пор покрытий.

2. Для повышения защитных свойств неметаллических неорганических покрытий на крупногабаритных деталях из магниевых сплавов можно использовать обработку органическими составами методом окунания или нанесения кистью.

3. Для защиты поверхностей первого класса деталей из магниевых сплавов, имеющих высокий класс точности, где невозможно применять системы ЛКП, целесообразно применять химическое покрытие с дополнительной пропиткой лаками на эпоксидной основе.

4. При испытании в 0,005 и 0,5 н. растворах NaCl магниевых сплавов с химическим и анодно-оксидным покрытиями наблюдается более значительная скорость коррозии последнего как по количеству выделившегося водорода, так и по потере массы, что можно объяснить различной степенью водородной деполяризации и частичным растворением покрытий при снятии продуктов коррозии с растворе хромового ангидрида.

Авторский коллектив выражает благодарность исполняющему обязанности начальника лаборатории «Магниевые и литейные алюминиевые сплавы» ФГУП «ВИАМ», кандидату технических наук Дуюновой Виктории Александровне за предоставленные материалы для проведения исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
3. Козлов И.А., Каримова С.А. Коррозия магниевых сплавов и современные методы их защиты //Авиационные материалы и технологии. 2014. №2. С. 15–20.
4. Волкова Е.Ф., Морозова Г.И. Структура и свойства цирконийсодержащего магниевого сплава МА14 //МиТОМ. 2006. №1. С. 24–28.
5. Волкова Е.Ф., Антипов В.В., Морозова Г.И. Особенности формирования структуры и фазового состава деформированных полуфабрикатов из серийного сплава МА14 //Авиационные материалы и технологии. 2011. №3. С. 8–15.
6. Caizhen Yao, Zichao Wang, See Leng Tay, Tianping Zhu, Wei Gao. Effects of Mg on microstructure and corrosion properties of Zn–Mg alloy //Journal of Alloys and Compounds. 2014. V. 602. P. 101–107.

7. He S.M., Zeng X.Q., Peng L.M., Gao X., Nie J.F., Ding W.J. Microstructure and strengthening mechanism of high strength Mg–10Gd–2Y–0,5Zr alloy //J. Alloys Compd. 2007. P. 316–323.
8. Wu D., Chen R.S., Ke W. Microstructure and mechanical properties of a sand-cast Mg–Nd–Zn alloy //Materials&Design. 2014. V. 58. P. 324–331.
9. Method for producing a magnesium alloy and a magnesium alloy produced accordingly: pat. 2013034134 WO; publ. 14.03.2013.
10. Magnesium alloy: pat. 2013039805 US; publ. 14.02.2013.
11. Magnesium alloy sheet: pat. 2557188 EP; publ. 13.02.2013.
12. Magnesium alloy: pat. 2745861 CA; publ. 01.08.2013.
13. Мухина И.Ю., Широков Ю.Г., Лебедев А.А. Особенности плавки магниевых сплавов в защитной атмосфере, содержащей инертный газ //Авиационная промышленность. 1984. №4. С. 63–65.
14. Jian W.W., Kang Z.X., Li Y.Y. Effect of hot plastic deformation on microstructure and mechanical property of Mg–Mn–Ce magnesium alloy Trans //Nonferr Met Soc China. 2007. V. 17. P. 1158–1163.
15. Chino Y., Mabuchi M. Influences of grain size on mechanical properties of extruded AZ91mg alloy after different extrusion processes //Adv. Eng. Mater. 2001. V. 3. P. 981–983.
16. Каримова С.А., Дуюнова В.А., Козлов И.А. Конверсионное покрытие для жаропрочного литейного магниевых сплава МЛ10 //Литейщик России. 2012. №2. С. 26–29.
17. Каблов Е.Н. Коррозия или жизнь //Наука и жизнь. 2012. №11. С. 16–21.
18. Гнеденков С.В., Сидорова М.В., Синебрюхов С.Л., Антипов В.В., Бузник В.М., Волкова Е.Ф., Сергиенко В.И. Строение и свойства покрытий, полученных методом плазменного электролитического оксидирования на авиационных магниевых сплавах //Авиационные материалы и технологии. 2013. №S2. С. 36–45.
19. Бузник В.М. Сверхгидрофобные материалы на основе фторполимеров //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 29–34.
20. Способ обработки поверхности магниевых сплавов: пат. 2403326 Рос. Федерация; опубл. 28.10.2009.
21. Козлов И.А., Павловская Т.Г., Волков И.А. Влияние поляризующего тока на свойства плазменного электролитического покрытия для магниевых сплавов системы Mg–Zn–Zr //Авиационные материалы и технологии. 2013. №3. С. 7–12.

22. 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).
23. Семенова Л.В., Малова Н.Е., Кузнецова В.А., Пожого А.А. Лакокрасочные материалы и покрытия //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 315–327.

REFERENCES LIST

1. 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] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
2. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies for aircraft] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. T. 82. №6. С. 520–530.
3. Kozlov I.A., Karimova S.A. Korrozija magnievyh spлавov i sovremennye metody ih zashhity [Corrosion of magnesium alloys and modern methods of protection] //Авиационные материалы и технологии. 2014. №2. С. 15–20.
4. Volkova E.F., Morozova G.I. Struktura i svojstva cirkonijsozderzhashhego magnievogo сплава MA14 [Structure and properties of zirconium-containing magnesium alloy MA14] //МiTOM. 2006. №1. С. 24–28.
5. Volkova E.F., Antipov V.V., Morozova G.I. Osobennosti formirovaniya struktury i fazovogo sostava deformirovannyh polufabrikatov iz serijnogo сплава MA14 [Features of formation of structure and phase composition of deformed semifinished serial alloy MA14] //Авиационные материалы и технологии. 2011. №3. С. 8–15.
6. Caizhen Yao, Zichao Wang, See Leng Tay, Tianping Zhu, Wei Gao. Effects of Mg on microstructure and corrosion properties of Zn–Mg alloy //Journal of Alloys and Compounds. 2014. V. 602. P. 101–107.
7. He S.M., Zeng X.Q., Peng L.M., Gao X., Nie J.F., Ding W.J. Microstructure and strengthening mechanism of high strength Mg–10Gd–2Y–0,5Zr alloy //J. Alloys Compd. 2007. P. 316–323.
8. Wu D., Chen R.S., Ke W. Microstructure and mechanical properties of a sand-cast Mg–Nd–Zn alloy //Materials&Design. 2014. V. 58. P. 324–331.
9. Method for producing a magnesium alloy and a magnesium alloy produced accordingly: pat. 2013034134 WO; publ. 14.03.2013.

10. Magnesium alloy: pat. 2013039805 US; pabl. 14.02.2013.
11. Magnesium alloy sheet: pat. 2557188 EP; pabl. 13.02.2013.
12. Magnesium alloy: pat. 2745861 CA; pabl. 01.08.2013.
13. Muhina I.Ju., Shirokov Ju.G., Lebedev A.A. Osobennosti plavki magnievyh splavov v zashhitnoj atmosfere, sodержashhej inertnyj gaz [Features melting of magnesium alloys in a protective atmosphere containing an inert gas] //Aviacionnaja promyshlennost'. 1984. №4. S. 63–65.
14. Jian W.W., Kang Z.X., Li Y.Y. Effect of hot plastic deformation on microstructure and mechanical property of Mg–Mn–Ce magnesium alloy Trans //Nonferr Met Soc China. 2007. V. 17. P. 1158–1163.
15. Chino Y., Mabuchi M. Influences of grain size on mechanical properties of extruded AZ91mg alloy after different extrusion processes //Adv. Eng. Mater. 2001. V. 3. P. 981–983.
16. Karimova S.A., Dujunova V.A., Kozlov I.A. Konversionnoe pokrytie dlja zharo-prochnogo litejnogo magnievogo splava ML10 [Conversion coating for heat-resistant casting magnesium alloy ML10] //Litejshhik Rossii. 2012. №2. S. 26–29.
17. Kablov E.N. Korrozija ili zhizn' [Corrosion or life] //Nauka i zhizn'. 2012. №11. S. 16–21.
18. Gnedenkov S.V., Sidorova M.V., Sinebrjuhov S.L., Antipov V.V., Buznik V.M., Volkova E.F., Sergienko V.I. Stroenie i svojstva pokrytij, poluchennyh metodom plazmennogo jelektroliticheskogo oksidirovanija na aviacionnyh magnievyh splavah [Structure and properties of the coatings produced by plasma electrolytic oxidation in aviation magnesium alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №S2. S. 36–45.
19. Buznik V.M. Sverhgidrofobnye materialy na osnove ftorpolimerov [Superhydrophobic materials based on fluoropolymers] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №1. S. 29–34.
20. Sposob obrabotki poverhnosti magnievyh splavov [The method of treating the surface of magnesium alloys]: pat. 2403326 Ros. Federacija; opubl. 28.10.2009.
21. Kozlov I.A., Pavlovskaja T.G., Volkov I.A. Vlijanie poljarizujushhego toka na svojstva plazmennogo jelektroliticheskogo pokrytija dlja magnievyh splavov sistemy Mg–Zn–Zr [Effect of polarizing current on the properties of plasma electrolytic coating for magnesium alloys of Mg–Zn–Zr] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №3. S. 7–12.
22. 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 space] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 02 (viam-works.ru).

23. Semenova L.V., Malova N.E., Kuznecova V.A., Pozhoga A.A. Lakokrasochnye materialy i pokrytija [Coating materials and coating] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 315–327.