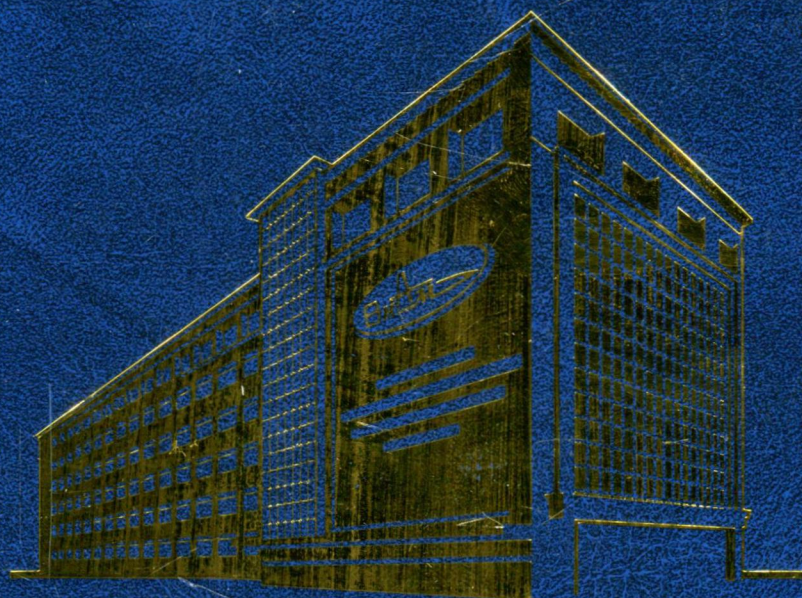


85 ЛЕТ
ФГУП
«**ВИАМ**»
Государственный
научный центр РФ



Авиационные материалы и технологии

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



АВИАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

ЮБИЛЕЙНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Приложение к журналу
«Авиационные материалы и технологии»

Под общей редакцией
академика РАН, профессора **Е.Н. Каблова**

Москва
ВИАМ
2017

УДК 629.7:620.22

ББК 39.5+30.3

A20

A20 Авиационные материалы и технологии: юбил. науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии») / под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2017. – 596 с. : ил.

ISBN 978-5-905217-13-5

Сборник, посвященный 85-летию Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов – ведущего государственного научного центра в области материаловедения, освещает последние достижения фундаментальных и прикладных исследований ученых института в сфере создания новых материалов и технологий в рамках реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки до 2030 г.».

Большое внимание уделено вопросам создания нового поколения жаропрочных литейных и деформируемых сплавов и сталей; защитных покрытий; высокопрочных и высокоресурсных алюминиевых сплавов; металлических и полимерных композиционных материалов; неметаллических и функциональных материалов. Подробно рассмотрены ресурсосберегающие, энергоэффективные технологии изготовления конструкций и деталей, получения полуфабрикатов различного назначения. Представлены методы фундаментально-ориентированных исследований, квалификации материалов, неразрушающего контроля.

Сборник предназначен для специалистов – материаловедов, конструкторов, научных и инженерно-технических работников авиационной и космической, а также машиностроительной, металлургической и других отраслей промышленности.

Редакционный совет

Главный редактор – академик РАН, профессор Е.Н. Каблов

Заместитель главного редактора – к.т.н. О.Г. Оспенникова

Члены совета

к.т.н. В.В. Антипов, д.т.н. И.Р. Асланян, к.т.н. Д.В. Гращенков,

д.т.н. Э.К. Кондрашов, д.т.н. Б.С. Ломберг, д.т.н. В.И. Лукин,

д.т.н. А.П. Петрова, к.х.н. Б.Ф. Павлюк, к.т.н. А.Е. Раскутин,

д.т.н. А.В. Славин, к.т.н. Ю.Н. Шевченко, д.т.н. Б.В. Щетанов

ISBN 978-5-905217-13-5

© ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	11
ЖАРОПРОЧНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ И СТАЛИ, ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД	
<i>О.Г. Оспенникова.</i>	
Итоги реализации стратегических направлений по созданию нового поколения жаропрочных литейных и деформируемых сплавов и сталей за 2012–2016 гг.	17
<i>Е.Н. Каблов, Ю.А. Бондаренко, А.Б. Ечин.</i>	
Развитие технологии направленной кристаллизации литейных высокожаропрочных сплавов с переменным управляемым температурным градиентом	24
<i>С.А. Мубояджян, С.А. Будиновский.</i>	
Ионно-плазменная технология: перспективные процессы, покрытия, оборудование	39
<i>Е.Н. Каблов, В.В. Сидоров, Д.Е. Каблов, П.Г. Мин.</i>	
Металлургические основы обеспечения высокого качества монокристаллических жаропрочных никелевых сплавов.....	55
<i>Н.В. Петрушин, О.Г. Оспенникова, И.Л. Светлов.</i>	
Монокристаллические жаропрочные никелевые сплавы для турбинных лопаток перспективных ГТД	72
<i>О.А. Базылева, О.Г. Оспенникова, Э.Г. Аргинбаева, Е.Ю. Летникова, А.В. Шестаков.</i>	
Тенденции развития интерметаллидных сплавов на основе никеля	104
<i>Б.С. Ломберг, С.В. Овсеян, М.М. Бакрадзе, М.Н. Летников, И.С. Мазалов.</i>	
Применение новых деформируемых никелевых сплавов для перспективных газотурбинных двигателей	116

В.И. Лукин, В.Г. Ковальчук, Е.Н. Иода.
Сварка плавлением – основа сварочного производства 130

*О.Г. Оспенникова, В.И. Лукин, А.Н. Афанасьев-Ходыкин,
И.А. Галушка, О.В. Шевченко.*
**Перспективные разработки в области высокотемпературной
пайки жаропрочных сплавов** 144

В.И. Громов, Н.М. Вознесенская, Н.Г. Покровская, О.А. Тоньшева.
**Высокопрочные конструкционные и коррозионностойкие стали
ФГУП «ВИАМ» для изделий авиационной техники** 159

М.М. Бакрадзе, А.В. Скугорев, В.В. Кучеряев, М.В. Бубнов.
**Компьютерное моделирование технологических процессов
обработки металлов давлением как инструмент разработки
новых технологий** 175

ТИТАНОВЫЕ, МАГНИЕВЫЕ И АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

В.В. Антипов.
**Перспективы развития алюминиевых, магниевых и титановых сплавов
для изделий авиационно-космической техники** 186

В.В. Антипов, Ю.Ю. Клочкова, В.А. Романенко.
Современные алюминиевые и алюминий-литиевые сплавы 195

В.В. Антипов, Н.Ю. Серебренникова, В.В. Шестов, В.В. Сидельников.
**Слоистые гибридные материалы на основе листов
из алюминий-литиевых сплавов** 212

В.А. Дуюнова, Е.Ф. Волкова, З.П. Уридия, А.В. Трапезников.
Динамика развития магниевых и литейных алюминиевых сплавов 225

С.С. Виноградов, А.А. Никифоров, С.А. Демин, Д.В. Чесноков.
Защита от коррозии углеродистых сталей 242

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕПЛОЗАЩИТА

Д.В. Гращенков.
**Стратегия развития неметаллических материалов, металлических
композиционных материалов и теплозащиты** 264

Ю.А. Ивахненко, Б.В. Баруздин, Н.М. Варрик, В.Г. Максимов.
Высокотемпературные волокнистые уплотнительные материалы 272

*Д.В. Гращенков, М.Л. Ваганова, Н.Е. Щеголева,
А.С. Чайникова, Ю.Е. Лебедева.*

Высокотемпературный стеклокристаллический материал барийалюмосиликатного состава, полученный с применением золь-гель синтеза, и композиционные материалы на его основе 290

М.Л. Ваганова, О.Ю. Сорокин, И.В. Осин.

Соединение керамических материалов методом искрового плазменного спекания 306

Д.В. Гращенков, И.Ю. Ефимочкин, А.Н. Большакова.

Высокотемпературные металломатричные композиционные материалы, армированные частицами и волокнами тугоплавких соединений 318

С.С. Солнцев, В.С. Денисова, В.А. Розененкова.

Реакционное отверждение – новое направление в технологии высокотемпературных композиционных покрытий и материалов..... 329

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

А.Е. Раскутин.

Стратегия развития полимерных композиционных материалов 344

А.Е. Раскутин.

Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях..... 349

Г.Ф. Железина, И.Н. Гуляев, Н.А. Соловьева.

Арамидные органопластики нового поколения для авиационных конструкций..... 368

К.Е. Куцевич, Л.А. Дементьева, Н.Ф. Лукина, Т.Ю. Тюменева.

Клеевые препреги – перспективные материалы для деталей и агрегатов из ПКМ..... 379

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА

Б.Ф. Павлюк.

Основные направления в области разработки полимерных функциональных материалов 388

Н.И. Нефедов, Л.В. Семенова, В.А. Кузнецова, Н.П. Веренинова.

Лакокрасочные покрытия для защиты металлических и полимерных композиционных материалов от старения, коррозии и биоповреждения 393

<i>С.В. Кондрашов, К.А. Шашкеев, Г.Н. Петрова, И.В. Мекалина.</i> Полимерные композиционные материалы конструкционного назначения с функциональными свойствами	405
<i>Г.Н. Петрова, С.А. Ларионов, М.М. Платонов, Д.Н. Перфилова.</i> Термопластичные материалы нового поколения для авиации.....	420
<i>О.А. Елисеев, И.С. Наумов, Д.Н. Смирнов, Я.А. Брык.</i> Резины, герметики и огне-теплозащитные материалы	437
<i>Н.Ф. Лукина, А.П. Петрова, Р.Р. Мухаметов, А.С. Когтёнков.</i> Новые разработки в области клеящих материалов авиационного назначения.....	452
ФУНДАМЕНТАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ	
<i>А.Н. Луценко, Н.С. Перов, Е.Б. Чабина.</i> Новые этапы развития Испытательного центра.....	460
<i>В.В. Мурашов.</i> Применение вариантов акустического импедансного метода для контроля деталей из ПКМ и многослойных клееных конструкций	469
<i>Ф.Н. Карачевцев, А.В. Алексеев, А.Ф. Летов, Р.М. Дворецков.</i> Плазменные методы анализа элементного химического состава никелевых сплавов	483
<i>О.А. Быценко, В.Б. Григоренко, Е.А. Лукина, Л.В. Морозова.</i> Развитие методов металлофизических исследований: методологические вопросы и практическая значимость	498
<i>С.Л. Барботько.</i> Развитие методов оценки пожаробезопасности материалов авиационного назначения	516
<i>А.Н. Луценко, А.В. Славин, В.С. Ерасов, К.К. Хвацкий.</i> Прочностные испытания и исследования авиационных материалов	527
<i>А.Б. Лаптев, С.Л. Барботько, Е.В. Николаев.</i> Основные направления исследований сохраняемости свойств материалов под воздействием климатических и эксплуатационных факторов	547
<i>Е.И. Косарина, О.А. Крупнина, А.А. Демидов, Е.М. Турбин.</i> Цифровая радиография в неразрушающем контроле авиационной техники	562
<i>А.В. Зуев, Ю.В. Лощинин, Д.Я. Баринов, П.С. Мараховский.</i> Расчетно-экспериментальные исследования теплофизических свойств.....	575

CONTENTS

Introduction	11
HEAT-RESISTANT CAST AND WROUGHT ALLOYS AND STEELS, PROTECTIVE COATINGS FOR GTE COMPONENTS	
<i>O.G. Ospennikova.</i> Implementation results of the strategic directions on creation of new generation of heat-resisting cast and wrought alloys and steels for 2012–2016	17
<i>E.N. Kablov, Yu.A. Bondarenko, A.B. Echin.</i> Development of technology of cast superalloys directional solidification with variable controlled temperature gradient	24
<i>S.A. Muboyadzhyan, S.A. Budinovskiy.</i> Ion-plasma technology: prospective processes, coatings, equipment	39
<i>E.N. Kablov, V.V. Sidorov, D.E. Kablov, P.G. Min.</i> The metallurgical fundamentals for high quality maintenance of single crystal heat-resistant nickel alloys	55
<i>N.V. Petrushin, O.G. Ospennikova, I.L. Svetlov.</i> Single-crystal Ni-based superalloys for turbine blades of advanced gas turbine engines	72
<i>O.A. Bazyleva, O.G. Ospennikova, E.G. Arginbaeva, E. Yu. Letnikova, A.V. Shestakov.</i> Development trends of nickel-based intermetallic alloys	104
<i>B.S. Lomberg, S.V. Ovsepyan, M.M. Bakradze, M.N. Letnikov, I.S. Mazalov.</i> The application of new wrought nickel alloys for advanced gas turbine engines ...	116
<i>V.I. Lukin, V.G. Kovalchuk, E.N. Ioda.</i> Fusion welding is a core of welding manufacturing	130
<i>O.G. Ospennikova, V.I. Lukin, A.N. Afanasiev-Khodykin, I.A. Galushka, O.V. Shevchenko.</i> Advanced developments in the field of the high-temperature soldering of heat resisting alloys	144

V.I. Gromov, N.M. Voznesenskaya, N.G. Pokrovskaya, O.A. Tonysheva.
**High-strength constructional and corrosion-resistant steels developed
by VIAM for aviation engineering** 159

M.M. Bakradze, A.V. Skugorev, V.V. Kucheryaev, M.V. Bubnov.
**Computer modeling of technological metal forming processes as effective
instrument for development of new technologies** 175

TITANIUM, MAGNESIUM AND ALUMINIUM ALLOYS. CORROSION PROTECTION

V.V. Antipov.
**Prospects for development of aluminium, magnesium and titanium
alloys for aerospace engineering** 186

V.V. Antipov, Yu.Yu. Klochkova, V.A. Romanenko.
Modern aluminum and aluminum-lithium alloys 195

V.V. Antipov, N.Yu. Serebrennikova, V.V. Shestov, V.V. Sidelnikov.
Laminated hybrid materials on basis of Al–Li alloy sheets 212

V.A. Duyunova, E.F. Volkova, Z.P. Uridiya, A.V. Trapeznikov.
Dynamics of the development of magnesium and cast aluminum alloys..... 225

S.S. Vinogradov, A.A. Nikiforov, S.A. Dyomin, D.V. Chesnokov.
Protection against corrosion of carbon steel 242

NONMETALLIC MATERIALS, METALLIC COMPOSITE MATERIALS

D.V. Grashchenkov.
**Strategy of development of non-metallic materials, metal composite materials
and heat-shielding** 264

Yu. A. Ivakhnenko, B.V. Baruzdin, N.M. Varrik, V.G. Maksimov.
High-temperature fibrous sealing materials..... 272

*D.V. Grashchenkov, M.L. Vaganova, N.E. Shchyogoleva,
A.S. Chainikova, Yu.E. Lebedeva*
**High-temperature glass crystal material of barium aluminosilicate structure,
received using sol-gel of synthesis and composite materials on its basis** 290

M.L. Vaganova, O.Yu. Sorokin, I.V. Osin.
Joining of ceramic materials by the method of spark plasma sintering 306

D.V. Grashchenkov, I.Yu. Efimochkin, A.N. Bolshakova.
**High-temperature metal-matrix composite materials reinforced
with particles and fibers of refractory compounds**..... 318

<i>S.S. Solntsev, V.S. Denisova, V.A. Rozenenkova.</i> Reaction cure – the new direction in technology of high-temperature composite coatings and materials	329
---	------------

POLYMER COMPOSITE MATERIALS AND TECHNOLOGIES OF THEIR PROCESSING

<i>A.E. Raskutin.</i> Development strategy of polymer composite materials.....	344
<i>A.E. Raskutin.</i> Russian polymer composite materials of new generation, their exploitation and implementation in advanced developed constructions	349
<i>G.F. Zhelezina, I.N. Gulyaev, N.A. Solovyova.</i> Aramide organic plastics of new generation for aviation designs.....	368
<i>K.E. Kutsevich, L.A. Dementeva, N.F. Lukina, T.Y. Tyumeneva.</i> Adhesive prepregs as promising materials for parts and assemblies from polymeric composite materials.....	379

FUNCTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES OF SYNTHESIS

<i>B.Ph. Pavlyuk.</i> The main directions in the field of development of polymeric functional materials	388
<i>N.I. Nefyodov, L.V. Semyonova, V.A. Kuznetsova, N.P. Vereninova.</i> Paint coatings for protection of metallic and polymer composite materials against aging, corrosion and biodeterioration	393
<i>S.V. Kondrashov, K.A. Shashkeev, G.N. Petrova, I.V. Mekalina.</i> Constructional polymer composites with functional properties.....	405
<i>G.N. Petrova, S.A. Larionov, M.M. Platonov, D.N. Perfilova.</i> Thermoplastic materials of new generation for aviation	420
<i>O.A. Eliseev, I.S. Naumov, D.N. Smirnov, Ya.A. Bryk.</i> Rubbers, sealants, fireproof and heat-shielding materials	437
<i>N.F. Lukina, A.P. Petrova, R.R. Mukhametov, A.S. Kogtyonkov.</i> New developments in the field of adhesive aviation materials	452

FUNDAMENTAL ORIENTED RESEARCHES, CLIMATIC TESTS, QUALIFICATION OF MATERIALS, NON-DESTRUCTIVE TESTING

<i>A.N. Lutsenko, N.S. Perov, E.B. Chabina.</i> The new stages of development of Testing Center.....	460
--	------------

<i>V.V. Murashov.</i> Application of options of the acoustic impedance method for control of parts from PCM and multilayer glued structures.....	469
<i>F.N. Karachevtsev, A.V. Alekseev, A.F. Letov, R.M. Dvoretzkyov.</i> Plasma methods of nickel alloys elemental chemical composition analysis.....	483
<i>O.A. Bytsenko, V.B. Grigorenko, E.A. Lukina, L.V. Morozova.</i> Development of methods for metal-physical research: methodological issues and practical significance	498
<i>S.L. Barbotko.</i> Development of the fire safety test methods for aviation materials.....	516
<i>A.N. Lutsenko, A.V. Slavin, V.S. Erasov, K.K. Khvatskiy.</i> Strength tests and researches of aviation materials	527
<i>A.B. Laptev, S.L. Barbotko, E.V. Nikolaev.</i> The main research areas of the persistence properties of materials under the influence of climatic and operational factors.....	547
<i>E.I. Kosarina, O.A. Krupnina, A.A. Demidov, E.M. Turbin.</i> Digital radiography in nondestructive testing of aerostructures.....	562
<i>A.V. Zuev, Yu.V. Loshchinin, D.Y. Barinov, P.S. Marakhovskiy.</i> Computational and experimental investigations of thermophysical properties.....	575