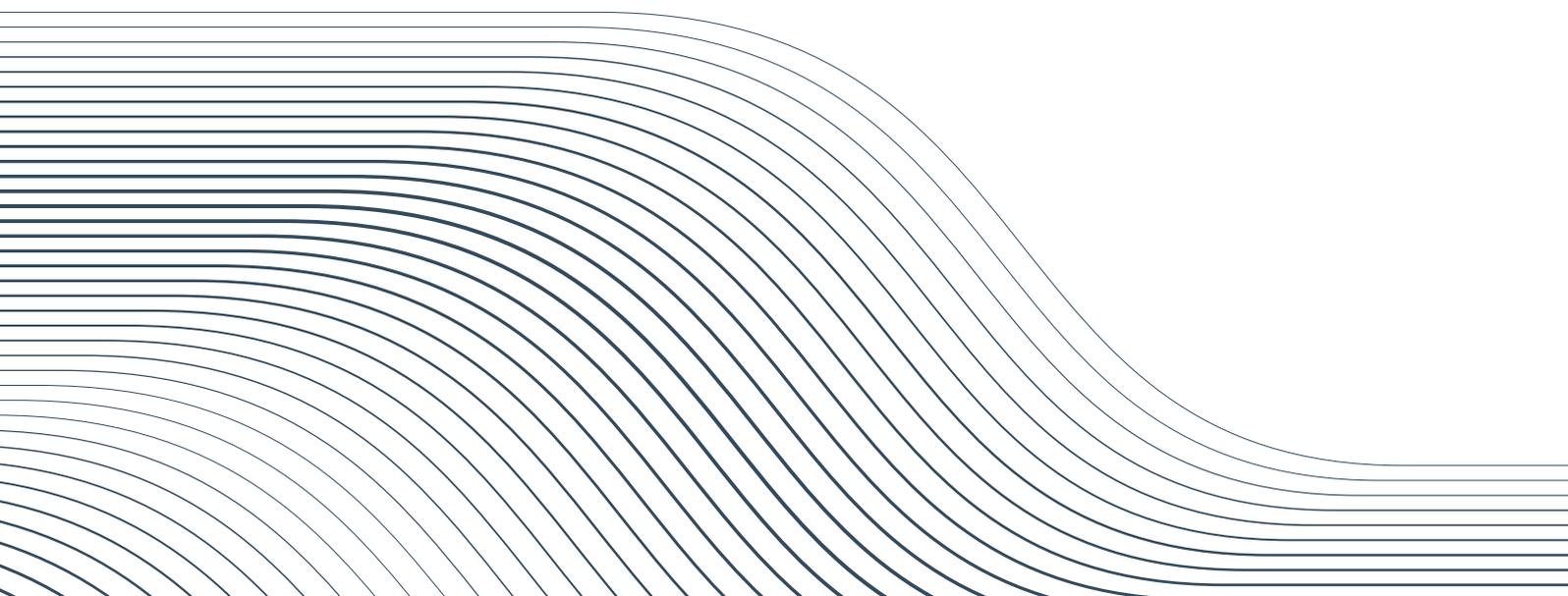




ЦЕНТР ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ  
Платформа открытых инноваций

# ТЕХНОЛОГИИ НИТУ МИСИС ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА



## ТЕХНОЛОГИИ НИТУ МИСИС ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Научно-исследовательская и инновационная деятельность НИТУ МИСИС направлена на решение широкого круга задач современного авиакосмического комплекса, обеспечивающих в том числе:

- Повышение эффективности технологий создания легких и прочных композиционных материалов на основе полимерной матрицы и углеродных волокон;
- Создание новых высокопрочных и термостойких материалов, упрочняющих покрытий;
- Разработку современных технологий для получения крупногабаритных тонкостенных отливок, локально армированных деталей, работающих в условиях повышенных нагрузок и температур.

В сборнике приведены отдельные результаты, иллюстрирующие проводимые работы в интересах развития авиакосмического комплекса страны. Глубокие компетенции научных групп НИТУ МИСИС в области материаловедения и металлургии, определяющие лидирующие позиции университета в стране и в мире, практический опыт внедрения этих решений в промышленности позволяют ученым университета эффективно применять свои знания для решения задач современного авиастроения.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПОКРЫТИЯ

1. Электродные материалы и технологии электроискрового легирования для повышения ресурса деталей техники..... 5
2. Упрочняющие арг-PVD покрытия расширенной области применения на твёрдосплавном (ВК, ТК, ТТК) режущем инструменте, используемом для прерывистого и непрерывного резания..... 6
3. Технология нанесения защитных покрытий для ответственных узлов и деталей современной техники .....7
4. Способ устранения дефектов и поверхностного упрочнения аддитивных изделий из сплавов на основе никеля и титана ..... 8
5. Твердые гидрофобные покрытия, обладающие противообрастающим, антиледовым и самозалечивающим эффектом ..... 9
6. Формирование защитных покрытий на поверхности интерметаллического сплава на основе гамма-алюминиды титана..... 10
7. Интерметаллические покрытия с использованием механохимического синтеза и последующей лазерной обработки..... 11

### НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СПЛАВЫ

8. Литейный магниевый сплав с повышенной стойкостью к возгоранию на воздухе.....12
9. Ультравысокотемпературная керамика на основе высокоэнтропийных карбидов (ВЭК) переходных металлов IV-VI групп для работы в экстремальных условиях.....13
10. Высокопрочный литейный магниевый сплав .....14
11. Новый термостойкий материал .....15
12. Коррозионностойкие алюминий-кальциевые сплавы, упрочняемые наночастицами фазы L12 без использования закалки.....16
13. Деформируемый алюминиевый сплав на основе системы Al-Mg-Sc-Zr с добавками Er и Yb .....17
14. Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Y и Al-Cu-Er.....18
15. Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd .....19
16. Композиционный материал на основе углеродных наполнителей и карбонизованных полимерных матриц ..... 20
17. Литейный алюминий-кальциевый сплав на основе вторичного сырья .....21
18. Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Y и Al-Cu-Er.....22
19. Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd .....23
20. Сплав с гетерогенной структурой системы Al-Mg для высокоскоростной сверхпластической формовки .....24
21. Новый защитный композит для космоса и авиации на основе карбонитрида гафния .....25
22. Высокопрочный материал RS-320 в качестве альтернативы силуминам .....26

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА

23. Литниковая система для заливки крупногабаритных тонкостенных отливок, представляющих собой тела вращения из магниевых сплавов в атмосфере защитного газа в формы из ХТС.....27
24. Цифровые технологии изготовления из легких сплавов литых деталей ответственного назначения для авиации .....28
25. Отливки из магниевых сплавов для летательных аппаратов .....29
26. Отливка «Корпус наружной камеры сгорания авиационного ГТД».....30
27. Технология модифицирования расплава при изготовлении литых заготовок из антифрикционной бронзы для диффузионной сварки со сталью.....31
28. Технология получения локально армированных деталей из титановых сплавов, работающих в условиях повышенных нагрузок и температур, для перспективных авиационных газотурбинных двигателей .....32
29. Термостойкая высокопрочная проволока из алюминиевого сплава системы Al-Cu-Mn-Zr .....33
30. Способ заделки дефектов в литых деталях из магниевых сплавов .....34
31. Технология создания легкого и прочного композиционного материала на основе полимерной матрицы и углеродных волокон ..... 35
32. Структурообразование и механизмы сверхпластической деформации титановых сплавов, легированных бета-стабилизаторами и редкоземельными металлами .....36

## ПОКРЫТИЯ

### 1. ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИКИ

**Назначение:** Упрочнение инструментов и деталей машин авиационно-космического назначения.

**Новизна:**

- Предложено модифицирование СВС - твердых сплавов путем введения в шихту добавки порошка ультрадисперсного алмаза
- Уменьшено зерно тугоплавкого компонента в электродном материале, что положительно сказалось на повышении эксплуатационных свойства электроискровых покрытий
- В качестве электродных материалов для ЭИЛ предложены безвольфрамовые твердые сплавы в системах Тл - Та - С - Мо, Т1 - С - Сг - N1 - УДА, Т1 - В - УДА, Ть-Та-С- сталь - УДА, полученные методом СВС

**Преимущества:**

- Высокие эксплуатационные свойства покрытий (износостойкость, твердость, жаростойкость, коэффициент трения)
- Высокая адгезия формируемых покрытий
- Возможность локальной обработки поверхности ответственных узлов и механизмов
- Отсутствие жестких требований к подготовке поверхности перед нанесением
- Высокая надежность оборудования
- Высокая экологичность процесса нанесения покрытий
- Низкое энергопотребление
- Высокая рентабельность и быстрая самоокупаемость инвестиций
- Возможность использовать покрытия на деталях, работающих под нагрузкой в экстремальных условиях эксплуатации

**Внедрение:**

Осуществлены промышленные внедрения новых СВС-электродных материалов, электроискрового оборудования и разработанных ЭИЛ-технологий:

- АО «Уфимское моторопроизводственное объединение»
- АО «Подольский машиностроительный завод им. С. Орджоникидзе»
- Завод «ЭЛКАТ» (г. Москва)
- ГП «Локомотивное депо «Вязьма»», (г. Вязьма)
- ОАО «НИИ стали» (г. Москва)

**Уровень разработки технологии:** TRL9

Патент №2371520 от 25.07.2008 «Композиционные электродные материалы для получения дисперсно-упрочненных наночастицами покрытий»

Патент №2367724 от 25.07.2008 «Способ получения дисперсно-упрочненных наночастицами покрытий»

Ноу-хау №11-164-2003 ОИС от 28.01.2003 «Технологические режимы электроискрового метода осаждения износостойких и жаростойких покрытий на изделия из титановых, никелевых сплавов и сталей»

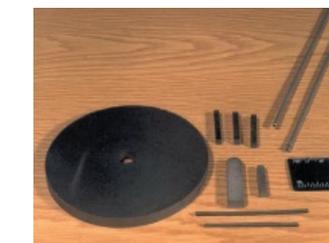


Рис. Электродные материалы для технологии ЭИЛ: дисковые; стержневые

## 2. УПРОЧНЯЮЩИЕ ARC-PVD ПОКРЫТИЯ РАСШИРЕННОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НА ТВЁРДОСПЛАВНОМ (ВК, ТК, ТТК) РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОМ ДЛЯ ПРЕРЫВИСТОГО И НЕПРЕРЫВНОГО РЕЗАНИЯ

**Назначение:** Токарная и фрезерная обработка изделий из титановых и жаропрочных сплавов, углеродистой и легированной стали, чугуна

### Новизна:

- Сочетание повышенных характеристик твёрдости и вязкости
- Прочность соединения с твёрдосплавной основой на уровне CVD покрытий
- Повышенная энергоэффективность металлообработки с учётом снижения на 20–30% силы резания в зоне контакта «режущий инструмент-обрабатываемый материал»

### Преимущества:

- Повышение стойкости режущего инструмента в зависимости от режима резания и обрабатываемого материала от 1,5 до 6 раз
- Отказ от СОЖ
- Снижение энергозатрат на металлообработку
- Конкурентноспособная цена

**Внедрение:** Малосерийное производство совместно с ООО «Прочность» на базе НИТУ МИСИС

**Уровень разработки технологии:** TRL8

Ноу-хау 7-217-2021 ОИС от 29.04.2021 «Способ получения ионно-плазменного вакуумно-дугового многослойного нанокристаллического покрытия Ti-Cr-Mo-Ni-N на пары трения, работающие в условиях повышенных температур, знакопеременных нагрузках, абразивного и коррозионного изнашивания»

Патент №2644094 от 07.02.2018 «Способ получения адаптивного износостойкого покрытия Ti-Al-Mo-N для защиты от изнашивания в меняющихся условиях трения»

Патент №2621506 от 06.06.2017 «Кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов»



Рис. Упрочняющие arc-PVD покрытия на твёрдосплавном (ВК, ТК, ТТК) режущем инструменте

## 3. ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ

**Назначение:** Для ответственных узлов двигательных установок, нефтеперерабатывающих насосов и других деталей, подвергающихся одновременному воздействию износа и коррозии

**Новизна:** Объединено три метода осаждения, основанных на различных физических принципах, в едином технологическом вакуумном цикле:

Впервые получили защитные покрытия из электродов на основе карбида хрома со связкой NiAl ( $Cr_3C_2 - NiAl$ ) путем последовательной реализации в одной установке методов электроискрового легирования (ЭИЛ), катодно-дугового осаждения (КДО) и магнетронного напыления (МН). Созданное покрытие обладает композиционной микроструктурой, которая позволяет совместить полезные эффекты всех трех методов

### Преимущества:

- Трехслойное покрытие в полтора раза более стойкое, чем базовые покрытия, к коррозии и жаростойкости, высокотемпературному окислению как в жидких, так и в газообразных средах в 1,5 раза по сравнению с существующими техническими решениями
- Герметичный жаростойкий верхний слой препятствует диффузии кислорода из агрессивных сред
- Повышение несущей способности за счет нижнего слоя вещества и герметизация дефектов при осаждении следующих двух слоев
- Покрытия позволяют повысить срок службы и рабочие характеристики

**Уровень разработки технологии:** TRL4

Ноу-хау № 26-164-2017 от 11 декабря 2017 г. «Способ нанесения покрытий, объединяющий импульсную электроискровую обработку и импульсное дуговое испарение»

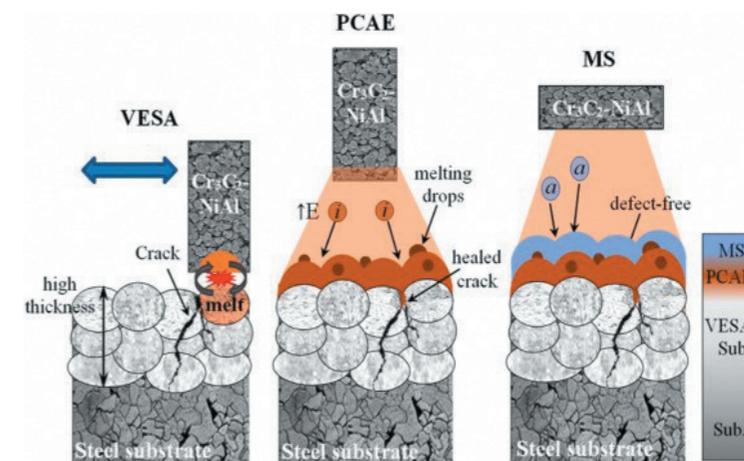


Рис. Дизайн покрытий, полученных по гибридной технологии VESA-PCAE-MS с использованием электродов  $Cr_3C_2 - NiAl$

#### 4. СПОСОБ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ И ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ И ТИТАНА

**Назначение:** Для изделий авиационно-космической отрасли, изготовленных из никелевых и титановых сплавов, полученных аддитивными технологиями, в т.ч. ответственных деталей горячего тракта газотурбинных двигателей и установок (лопатки турбин и компрессоров, диски турбин, камеры сгорания, жаровые трубы, корпусные детали)

**Новизна:** При локальном плавлении специально приготовленных легкоплавких электродов на основе алюминия в процессе электроискровой обработки изделий из никелевых и титановых сплавов образуется химически активный жидкотекучий расплав. Этот расплав заполняет неровности и взаимодействует с химическими элементами основы, образуя в приповерхностном слое твердые износостойкие фазы, состоящие из элементов электрода и основы. Такая электроискровая обработка приводит к образованию интерметаллидных фаз в поверхностном слое изделий и снижению шероховатости поверхности в 2,5 раза для Ni- и в 8 раз для Ti-основы

##### Преимущества:

- Реализация реакционного фазообразования возможна в случае режима ЭИО с меньшей частотой и большей длительностью импульсных разрядов, при которых образуются интерметаллидные фазы (Ni3Al, AlCo)
- Поверхность характеризуется низкой шероховатостью Ra = 1,98 мкм благодаря искровому плазменному выглаживанию выступов и заполнению впадин расплавом
- Более гладкие электроискровые (ЭИ) слои обладают большей износостойкостью, а более интенсивный износ контртела свидетельствует об их повышенной твердости

##### Внедрение:

В ООО «НПО «МЕТАЛЛ» проведено опробование электроискрового способа обработки эвтектическим электродом состава 98%Al-12 вес.% Si деталей защитной накладки композитной лопатки турбинного двигателя и роторной лопатки турбины высокого давления парового двигателя

**Уровень разработки технологии:** TRL4-5

Ноу-хау № 9 -732-2021 ОИС от 31.05.2021 «Способ устранения дефектов и поверхностного упрочнения аддитивных изделий из сплавов на основе никеля и титана»

Ноу-хау № 8-732-2021 ОИС от «31» мая 2021 г. «Способ получения структурнооднородных легкоплавких стержневых электродов Al-Si для электроискровой обработки»

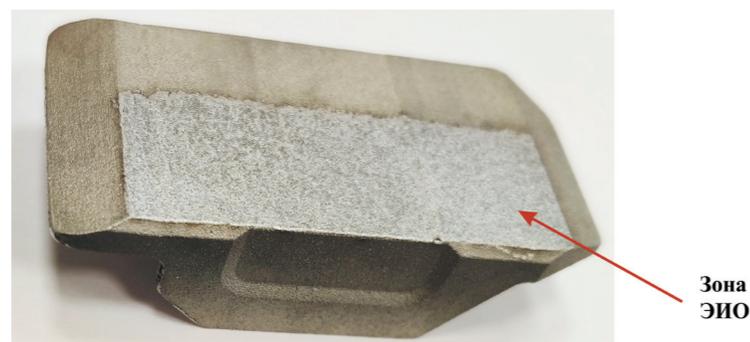


Рис. Защитная накладка композитной лопатки турбинного двигателя после ЭИО

#### 5. ТВЕРДЫЕ ГИДРОФОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ОБЛАДАЮЩИЕ ПРОТИВООБРАСТАЮЩИМ, АНТИЛЕДОВЫМ И САМОЗАЛЕЧИВАЮЩИМ ЭФФЕКТОМ

##### Назначение:

- Защита объектов авиационной, космической и морской техники, крупногабаритных металлоконструкций, электрических подстанций, антенных систем, различных радиотехнических систем и устройств от обледенения
- Защита морских сооружений (домкраты и опоры, трубопроводы, навесные приспособления для плавучих конструкций на платформах, натяжные опоры, швартовые линии полупогружных конструкций, и т.д.) от коррозии
- Защита материалов, используемых в гидравлическом оборудовании (морские гребные винты, лопасти гидротурбин, детали водяного насоса, центробежные клапаны и камеры, и т.д.), а также в буровых центробежных и транспортирующих насосах, применяемых в нефтяном и транспортном оборудовании, работающих на морском побережье
- Защита металлических конструкций, транспорта и оборудования в приморской зоне от агрессивных химических, атмосферных, низкотемпературных и биологических воздействий

**Новизна:** Новые типы защитных покрытий обеспечивают защиту сталей и сплавов от абразивного и трибокоррозионного износа, морской коррозии, кавитационной эрозии и микробиологической коррозии. Один из основных методов осаждения покрытий - импульсное электроискровое осаждение (ИЭО). Ранее таких комплексных задач не ставилось. Результат соответствует мировому уровню

##### Преимущества:

- Многокомпонентные и функционально-градиентные покрытия обладают комбинацией высокой твердости, износостойкости, адгезионной и усталостной прочности, стойкостью к коррозионному, трибокоррозионному и кавитационному воздействиям, гидрофобностью, низким коэффициентом трения, стойкостью к формированию биопленки и к обледенению
- Относительная дешевизна и простота используемого оборудования (в отличие от вакуумных или лазерных технологий). ИЭО оборудование может быть легко транспортировано на морское побережье и использоваться не только для получения новых типов изделий, но и для восстановления вышедших из строя

**Уровень разработки технологии:** TRL4

Патент № 2725941 от 07.07.2020 «Способ вакуумной карбидизации поверхности металлов»

Патент №2729278 от 05.08.2020 «Способ электроискрового легирования в вакууме, совмещенный с катодно-дуговым осаждением»

Заявка на патент №2022125733 от 03.10.2022 «Способ вакуумного нанесения слоистых покрытий комбинацией методов электроискрового легирования и катодно-дугового испарения и устройство для его осуществления (варианты)»



Рис.1 Изображения деталей морской инфраструктуры после эксплуатации в коррозионной среде

## 6. ФОРМИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ ГАММА-АЛЮМИНИДА ТИТАНА

### Назначение:

Предназначены для изготовления конструкций, работающих при высоких температурах и нагрузках и защиты легированных сплавов на основе титаналюминидов с преобладающей фазой  $\gamma$ -TiAl

### Новизна:

На поверхность изделия из интерметаллического сплава наносят порошок с содержанием компонентов: Co, Cr, Al, Y, Ta и Ni, с применением технологии высокоскоростного газопламенного напыления, оптимальные режимы которого экспериментально выявлены и запатентованы. Сплавы этого типа отличаются малой плотностью, высокой удельной прочностью и стойкостью к окислению

### Преимущества:

Повышение термостойкости сплава на основе TiAl до 920°C

- Придание сплаву необходимых механических свойств при комнатной температуре и температуре эксплуатации
- Получение покрытия толщиной не менее 150 мкм

### Уровень разработки технологии: TRL2-3

Патент N 2716570 «Способ напыления защитных покрытий для интерметаллического сплава на основе гамма-алюминид титана»



Рис. Защитные покрытия для интерметаллического сплава на основе гамма-алюминид титана

## 7. ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

**Назначение:** Полученные на основе интерметаллических соединений покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью, жаропрочностью и жаростойкостью, износостойкостью и могут найти применение в кораблестроении, машиностроении, авиастроении и т.д. В качестве металлических изделий, на которые наносится покрытие (подложка), возможно использовать различные металлы и сплавы, такие как сталь, титан, алюминий, никель

### Новизна:

Предложена замена стандартного длительного отжига покрытия (совместно с подложкой) на высокоэффективную лазерную обработку только поверхностного слоя изделия (покрытия с последующим нагревом и гомогенизацией тонкого слоя покрытия, в котором устраняются дефекты в виде трещин и пор, без значительного теплового влияния на материал подложки)

### Преимущества:

- Предложенный способ отличается возможностью проведения процесса при низкой температуре, что позволяет наносить на подложку термически неустойчивые вещества
- Использование механоактивационных технологий, благодаря проведению процесса в твердофазном состоянии, имеет существенно меньшие ограничения по парам основного и наносимого материалов (например, можно наносить тугоплавкие покрытия на легкоплавкие подложки)
- В процессе нанесения покрытия одновременно происходит механическое разрушение сплошной оксидной пленки с образованием «свежей» поверхности подложки, это способствует химическому взаимодействию материалов покрытия и подложки и усилению их адгезионной связи

### Уровень разработки технологии: TRL1-2

Патент N 2677575 «Способ получения интерметаллических покрытий с использованием механохимического синтеза и последующей лазерной обработки»

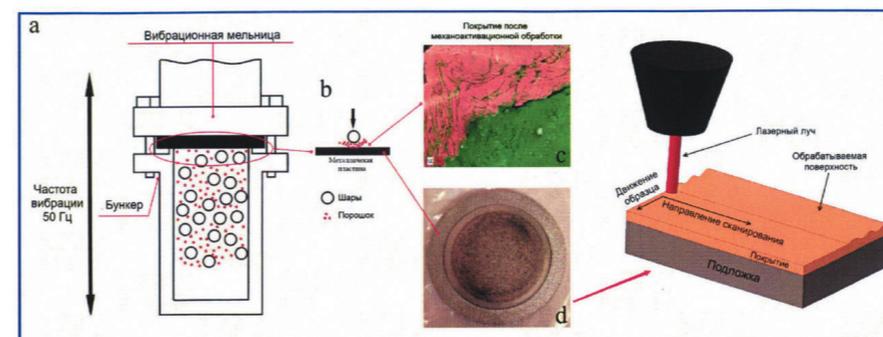


Рис. Схема получения покрытия на основе интерметаллического соединения NiAl на плоском железном образце: (а) схема крепления образца подложки в вибрационном шаровом механическом активаторе, (б) схема формирования покрытия на основе порошков Ni и Al на подложке, (с) микрофотография покрытия, после нанесения на подложку, (д) макрофотография подложки с нанесённым NiAl покрытием, (е) схема последующей лазерной обработки

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СПЛАВЫ

### 8. ЛИТЕЙНЫЙ МАГНИЕВЫЙ СПЛАВ С ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТЬЮ К ВОЗГОРАНИЮ НА ВОЗДУХЕ

**Назначение:** Авиастроение. Литейные сплавы на основе магния могут быть использованы при получении деталей для авиакосмической промышленности, работающих под действием высоких нагрузок при температурах до 250°C и одновременно при температурах до 300°C

**Новизна:** Предложен материал для получения магниевых отливок авиационного назначения, имеющий высокую температуру возгорания и прочностные свойства, превосходящие промышленный магниевый сплав МЛ19. Разовые песчаные формы, получаемые на основе синтетических связующих могут быть изготовлены по технологиям 3D печати (BinderJetting) или по традиционным технологиям формовки с применением различных связующих композиций: Per-set,  $\alpha$ -set, Resol-CO<sub>2</sub> и т.п.

#### Преимущества:

- Повышение температуры возгорания магниевых деталей и, соответственно, снижение пожароопасной конструкций авиационной техники, выполненной из нового материала
- Высокие значения прочности на разрыв после термообработки ( $\sigma_{\text{в}}$  около 270 МПа)
- Экономия в весе литых деталей
- Увеличение коррозионной стойкости в условиях внешней среды
- Температура эксплуатации до 250°C
- Увеличение срока эксплуатации агрегатов
- Снижение выбросов фторхлорсодержащих солей

**Внедрение:** ПАО «ОДК-Кузнецов» совместно с НИТУ МИСИС

**Уровень разработки технологии:** TRL6

Патент №2687359 от 13.05.2019 «Литейный магниевый сплав»

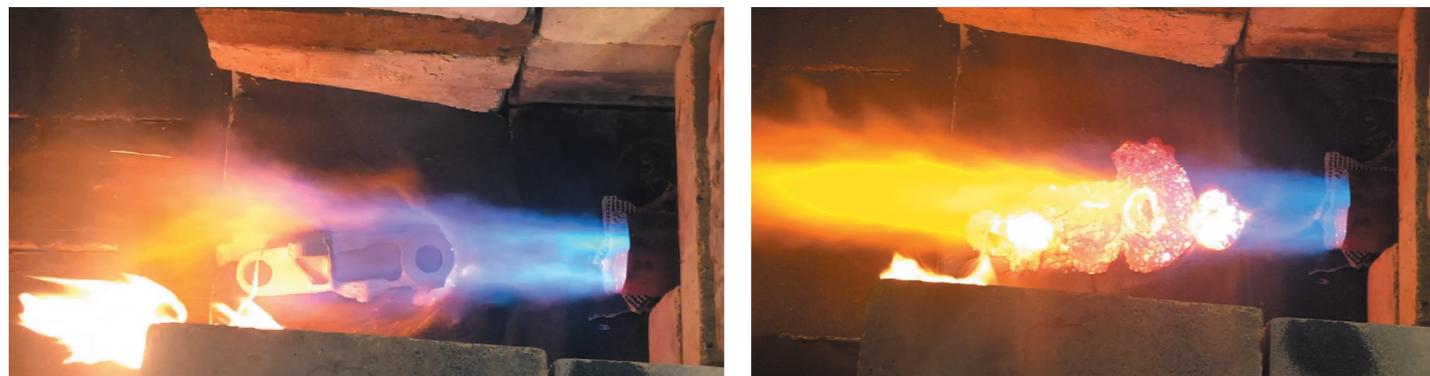


Рис. Испытания отливок МЛ10 на возгорание в пламени горелки, имитирующем открытый пожар на летательном аппарате, при 60°C и 120°C

### 9. УЛЬТРАВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ КАРБИДОВ (ВЭК) ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ IV-VI ГРУПП ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

**Назначение:** В качестве основных областей использования ВЭК можно выделить: авиакосмическую отрасль (детали горячего тракта реактивного двигателя), режущий инструмент, износостойкие и теплозащитные покрытия. Наряду с высокой коррозионной стойкостью ВЭК обладают хорошей радиационной стойкостью, что делает их перспективными для использования в ядерной энергетике

**Новизна:** Высокая фазовая стабильность в рамках теории функционала плотности с дальнейшим расчетом фактора энтропийной стабилизации позволила разработать и синтезировать ряд перспективных ВЭК на основе 4-х, 5-ти, 6-ти, 7-ми и 8-ми металлов IV-VI Периодической системы, обладающих стойкостью к высокотемпературному окислению, высоким сопротивлением термическому шоку, высокой твердостью и механической прочностью при высоких температурах, превосходным сопротивлением абляции и высокотемпературной ползучести

#### Технические характеристики:

- Фазовый состав: ГЦК структура с параметром решетки 0,43–0,45 нм
- Относительная плотность компакта: 95–99 %
- Твердость: 18–22 ГПа
- Температура плавления: 2300 – 4300 К
- Модуль Юнга: 210 – 390 ГПа
- Предел прочности на сжатие: 2,3 – 3,5 ГПа при 25°C
- Трещиностойкость ( $K_{IC}$ ): 4–6 МПа $\sqrt{м}$
- Сопротивление абляции: линейная скорость абляции (ЛСА) = 2,2–3,8 мкм $\cdot$ с<sup>-1</sup>; массовая скорость абляции (МСА) = 16–35 мг $\cdot$ с<sup>-1</sup> при плотности теплового потока 2,4 МВт/см<sup>2</sup>
- Скорость окисления: интегральный прирост массы ( $\Delta W/W$ ) = 16,5 – 36,0 мг/см<sup>2</sup>

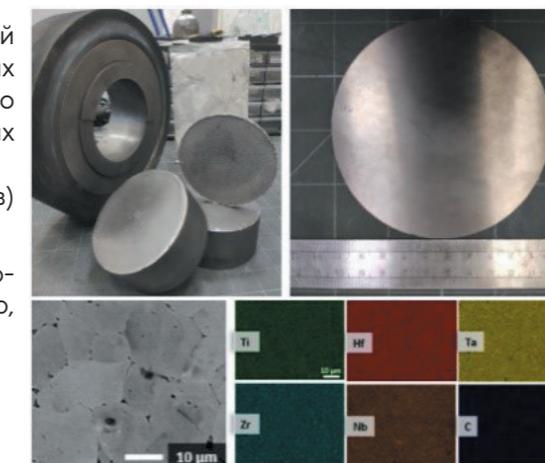
#### Преимущества:

- Высокая энтропия смешения и сильные искажения кристаллической решетки, достигаемые за счет введения 4-5 и более металлических атомов в катионную подрешетку, позволяют достичь превосходного уровня физико-механических свойств, выше чем у существующих монокарбидов
- Низкая теплопроводность – 5,5–6 Вт/мК (в 5–6 раз ниже монокарбидов)

**Уровень разработки технологии:** TRL6

Ноу-хау № 2-439-2021 от 19 апреля 2021 года, «Способ получения высокоэнтропийных карбидов на основе тугоплавких металлов Hf, Ta, Ti, Nb, Zr, Mo и W»

Рис. Типичный вид изготавливаемых компактных образцов и микроструктура ВЭК



## 10. ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЛИТЕЙНЫЙ МАГНИЕВЫЙ СПЛАВ

### Назначение:

Изобретение может быть использовано для получения фасонных отливок ответственного назначения, обладающих сочетанием хороших прочностных свойств при комнатной и повышенной температурах, а также повышенной стойкостью сплава к возгоранию в процессе плавки и эксплуатации изделий из него

### Новизна:

Создан новый литейный магниевый сплав, предназначенный для получения фасонных отливок методами литья в разовые и постоянные формы. Для достижения максимальных механических свойств необходима термообработка по режиму T6 (закалка сплава после высокотемпературного отжига с последующим старением)

### Преимущества:

Превосходит все промышленные литейные сплавы по ГОСТ 2856-79: после термообработки сплав обладает высокими механическими свойствами при комнатной температуре: временное сопротивление на разрыв ( $\sigma_B$ ) не менее 300 МПа, относительное удлинение ( $\delta$ ) – не менее 4 %

### Уровень разработки технологии: TRL5

Патент № 2786785 от 26.12.2022 «Высокопрочный литейный магниевый сплав»»

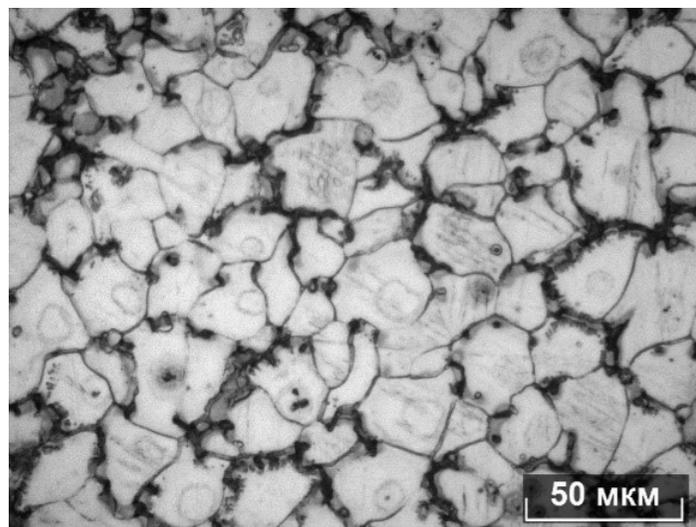


Рис. 1 Микроструктура сплава в литом состоянии

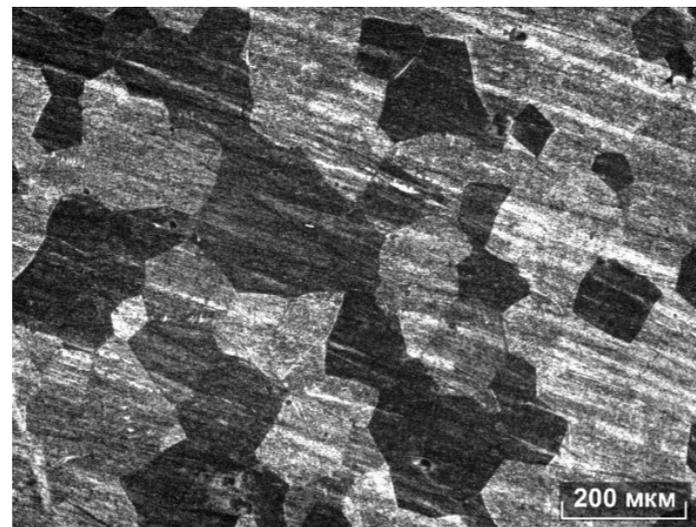


Рис.2 Микроструктура сплава после термической обработки

## 11. НОВЫЙ ТЕРМОСТОЙКИЙ МАТЕРИАЛ

**Назначение:** Полученный материал применим для изготовления облегченных электропроводов, в частности, в авиации

### Новизна:

- Изготовлена длинномерная прутковая заготовка (диаметром 12 мм) из алюминиевого сплава, содержащего 0,8 мас.% Ca, 0,5% Fe, 0,25% Si и 0,5% Zr
- Начало образования наночастиц Al<sub>3</sub>Zr (L1 2) при 300°C и почти полное разложение (Al) при 400°C
- Распределение Zr-содержащих наночастиц достаточно однородное, их средний размер не превышает 10 нм
- Экспериментальный проволочный сплав имеет предел прочности на разрыв(UTS) 200 МПа, относительное удлинение (El) 11,9 % и электропроводность (EC) 54,7 IACS, отвечающие требованиям к сплаву O1417

### Преимущества:

Максимальная температура нагрева выросла (400°C против 230°C) и соответствует спецификации типа AT4

### Уровень разработки технологии: TRL5

Патент на изобретение №2767091 от 16.03.2022 «Способ получения термостойкой проволоки из алюминиево-кальциевого сплава»

Патент №2767091 от 16.03.2022 «Способ получения термостойкой проволоки из алюминиево-кальциевого сплава»



Рис. Новый термостойкий материал для электропроводов



## 12. КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ АЛЮМИНЕВО-КАЛЬЦИЕВЫЕ СПЛАВЫ, УПРОЧНЯЕМЫЕ НАНОЧАСТИЦАМИ ФАЗЫ L12 БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАКАЛКИ

**Назначение:** Коррозионностойкие алюминий-кальциевые сплавы предназначены для замены марочных силуминов. Сплавы могут быть использованы для получения как фасонных отливок различными методами литья (в частности, в кокиль и под давлением), так и деформированных полуфабрикатов (в частности, листов, прутков, проволоки)

### Новизна:

- Кальций – основной легирующий элемент
- Железо в количестве до 1% – основной легирующий элемент, не влияющий отрицательно на свойства (входит в состав тройной эвтектики в виде тройного интерметаллида, имеющего компактную форму)
- Предел прочности ( $\sigma$ ) отливок более 250 МПа
- $\sigma_{0.2}$  деформированных полуфабрикатов более 300 МПа
- Содержание железа до 1,0%
- В сплаве эвтектического состава содержится в 3 раза больше интерметаллида  $Al_4Ca$  (около 30 об. %), чем частиц кремния в эвтектическом силумине (8-10 об.%)

### Преимущества:

- Более тонкая структура алюминий-кальциевой эвтектики по сравнению с алюминий-кремниевой в силуминах
- Отсутствие необходимости проводить модифицирование расплава
- Высокие технологические свойства как при литье, так и при деформационной обработке
- Пониженная плотность
- Более высокая коррозионная стойкость

### Уровень разработки технологии: TRL5

Патент №2716566 от 12.03.2020 «Способ получения деформированных полуфабрикатов из алюминий-кальциевого композиционного сплава»



Рис. Коррозионностойкие алюминий-кальциевые сплавы. Деталь педали

## 13. ДЕФОРМИРУЕМЫЙ АЛЮМИНЕВЫЙ СПЛАВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AL-MG-SC-ZR С ДОБАВКАМИ ER И Yb

### Назначение:

Может быть использовано при получении деформированных полуфабрикатов в виде катаных плит и листов, предназначенных для использования в строительстве, судостроении, авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности

### Новизна:

Сочетание высокого предела текучести и пластичности в деформируемых полуфабрикатах достигается за счет особенностей легирования редкоземельными и переходными металлами, термической и термомеханической обработки, формирующих дисперсную субструктуру, состоящую из твердого раствора, упрочненного наноразмерными L12-дисперсидами и микронными частицами фаз кристаллизационного происхождения

### Преимущества:

Алюминиевые сплавы сочетают высокую прочность с пониженной концентрацией скандия, что в значительной мере снижает стоимость, и способы получения деформированных полуфабрикатов из них с высоким уровнем механических свойств, особенно временным сопротивлением и пределом текучести

### Уровень разработки технологии: TRL4-5

Патент №2743079 от 22.09.2020г. «Деформируемый алюминий-магний-скандий-цирконий с добавками Er и Yb (варианты)»

Ноу-хау №15-013-2019 от 09.12.2019 «Состав и способ получения деформируемого алюминий-магний-скандий-цирконий с иттрием и скандием с повышенной прочностью и электропроводностью»

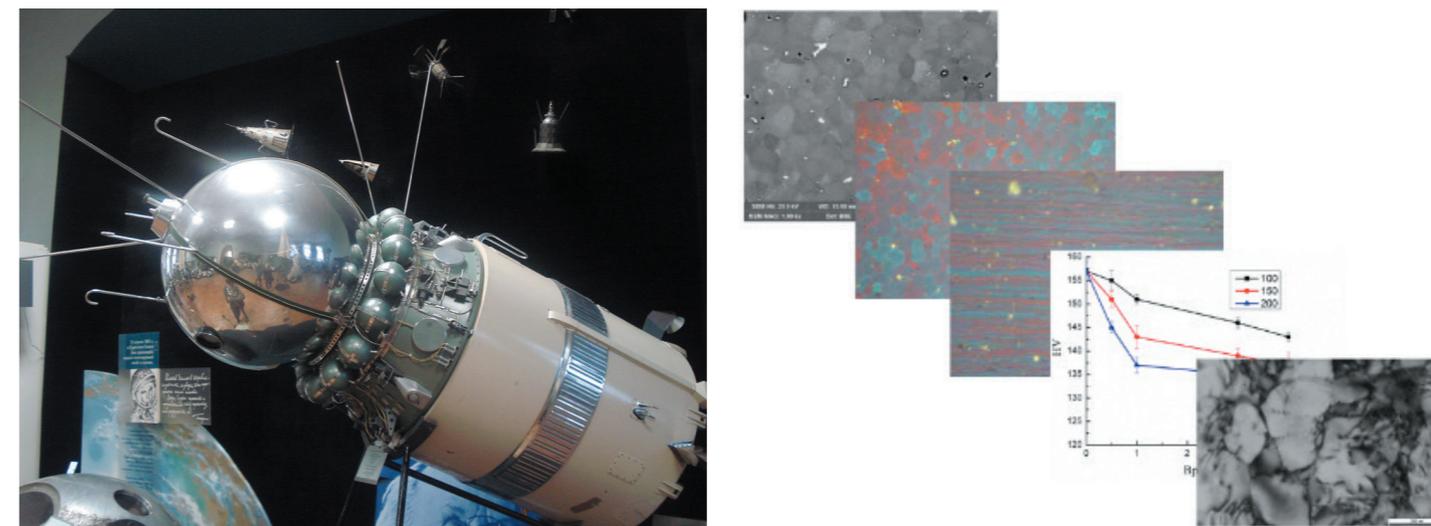


Рис. Состав определяет структуру и свойства. Al-Mg-Sc-Zr с добавками Er и Yb

## 14. ЖАРОПРОЧНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ AL-CU-Y И AL-CU-ER

**Назначение:** Предназначено для изготовления жаропрочных литейных и деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической и деформационной обработкой, в аэрокосмической, автомобильной и других отраслях промышленности

**Новизна:** Новые литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Y и Al-Cu-Er с хорошим уровнем литейных свойств, высоким уровнем прочности при комнатной и повышенных температурах, особенно предела текучести при растяжении и сжатии при температурах 200-300°C:

- Жаропрочный литейный и деформируемый алюминиевый сплав содержит следующие легирующие элементы: медь, иттрий, марганец, цирконий, титан, бор, магний при следующем компонентном составе, масс. %: Медь 4-6,5 Иттрий 1,6-2,3 Марганец 0,6-0,9 Цирконий 0,2-0,3 Титан 0,1-0,15 Бор 0,02-0,03 Магний 0,8-1,1 Алюминий остальное, при этом в сплаве отношение содержания (масс. %) меди к иттрию составляет 2,8, структура сплава состоит из сложнелегированного твердого раствора и интерметаллидных частиц размером до 3 мкм
- Жаропрочный литейный и деформируемый алюминиевый сплав содержит следующие легирующие элементы: медь, эрбий, марганец, цирконий, титан, бор, магний при следующем компонентном составе, масс. %: Медь 4-6,5 Эрбий 2,7-4,05 Марганец 0,6-0,9 Цирконий 0,2-0,3 Титан 0,1-0,15 Бор 0,02-0,03 Магний 0,8-1,1 Алюминий остальное, при этом в сплаве отношение содержания (масс. %) меди к эрбию составляет 1,5, структура сплава состоит из сложнелегированного твердого раствора и интерметаллидных частиц размером до 3 мкм

**Преимущества:** Высокий уровень литейных свойств, высокие значения прочности при комнатной и повышенных температурах, особенно предела текучести при растяжении и сжатии при температурах 200-300°C

**Уровень разработки технологии:** TRL4-5

Патент №2749073 от 30.10.2020г. «Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Y и Al-Cu-Er (варианты)»

Ноу-хау №16-013-2019 ОИС от 09.12.2019 «Состав и способ получения высокотехнологичных и термически стабильных алюминиевых сплавов с иттрием и эрбием»

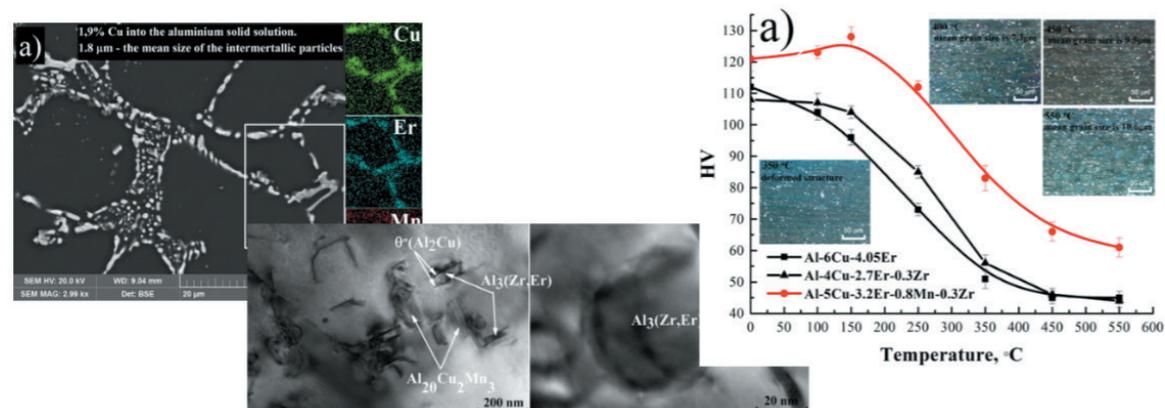


Рис. Состав определяет структуру и свойства. Алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Y и Al-Cu-Er

## 15. ЖАРОПРОЧНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ AL-CU-YB И AL-CU-GD

**Назначение:** Предназначено для изготовления жаропрочных литейных и деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической и деформационной обработкой, в аэрокосмической, автомобильной и других отраслях промышленности

**Новизна:** Новые литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd с хорошим уровнем литейных свойств, высоким уровнем прочности при комнатной и повышенных температурах, особенно предела текучести при растяжении и сжатии при температурах 200-250°C:

- Жаропрочный литейный или деформируемый алюминиевый сплав содержит следующие легирующие элементы: медь, иттербий, марганец, цирконий, титан, бор, магний при следующем компонентном составе, масс. %: медь - 4-4,5; иттербий - 2,7-3,0; марганец - 0,7-0,8; цирконий - 0,25-0,3; титан - 0,1-0,15; бор - 0,02-0,03; магний - 0,9-1,1, алюминий - остальное, при этом в сплаве отношение содержания (масс. %) меди к иттрию составляет 1,5, структура сплава состоит из сложнелегированного твердого раствора и интерметаллидных частиц размером до 2 мкм
- Жаропрочный литейный или деформируемый алюминиевый сплав содержит следующие легирующие элементы: медь, эрбий, марганец, цирконий, титан, бор, магний при следующем компонентном составе, масс. %: медь - 4-4,5; гадолиний - 2,5-2,7; марганец - 0,7-0,8; цирконий - 0,25-0,3; титан - 0,1-0,15; бор - 0,02-0,03; магний - 0,9-1,1; алюминий - остальное, при этом в сплаве отношение содержания (масс. %) меди к эрбию составляет 1,64, структура сплава состоит из сложнелегированного твердого раствора и интерметаллидных частиц размером до 2 мкм

**Преимущества:**

Литейные и деформируемые алюминиевые сплавы обладают повышенной жаропрочностью, технологичностью при литье и хорошей прочностью и пластичностью

**Уровень разработки технологии:** TRL4-5

Патент №2785402 от 10.06.2022г. «Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd»

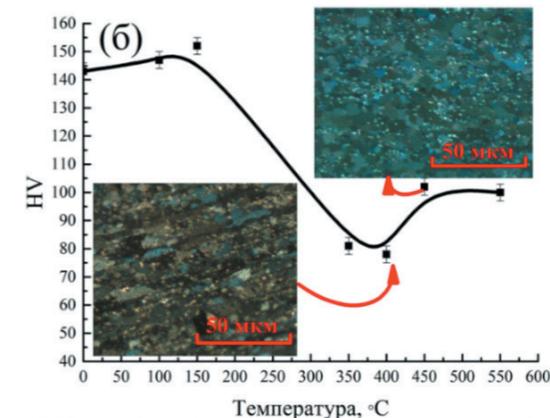


Рис. Состав определяет структуру и свойства. Алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd

## 16. КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И КАРБОНИЗОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ

### Назначение:

- Производство ключевых деталей топливных ячеек (устройств для преобразования химической энергии топлива непосредственно в электрическую без сжигания), узлов химически стойкой аппаратуры, сложной насосной техники для добычи нефти на рекордных глубинах и в самых суровых условиях (песок, сероводород, температура свыше 200°C)
- Создание нового поколения компонентов авиационных двигателей
- Производство узлов и техники, работающих в экстремальных условиях

### Новизна:

- Композиты состоят из различных углеродных упрочняющих наполнителей в графитной матрице, полученной методом карбонизации — превращения полимера в углеродный материал. В новом материале короткие углеродные волокна были частично импортозамещены на шунгит, также известный, как «аспидный камень»
- Оптимизирован процесс карбонизации с точки зрения повышения трещиностойкости образцов в зависимости от температуры обработки и состава исходной смеси, а именно, от содержания углеродных упрочняющих фаз
- Обогащение исходного продукта углеродом с одновременной перестройкой его структуры
- Высокая химическая и температурная стойкость
- Низкая плотность и высокая прочность

### Преимущества:

- Быстрое и экономичное производство
- Материал достигает наилучших показателей по критерию «трещиностойкость» — сопротивляемость зарождению и распространению трещин
- Пластичный полимер, которому легко можно придать нужную форму, превращается в одно из стабильных углеродных соединений, таких как графит или алмаз, с повышенной прочностью и термостойкостью

### Уровень разработки технологии: TRL4

Ноу-хау №54-366-2016 от 14.12.2016 «Высоконаполненные наномодифицированные эластомерные смеси, предназначенные для формирования изделий с последующей низкотемпературной карбонизацией»

Ноу-хау №34-366-2017 от 22.12.2017 «Способ исправления искажений геометрии изделий из эластомерных смесей, наполненных углеродными наполнителями и дисперсным карбидом кремния в процессе карбонизации»

Ноу-хау № 35-366-2017 от 22.12.2017 «Метод получения карбонизованных эластомерных смесей, наполненных углеродными наполнителями и дисперсным карбидом кремния»



Рис. Новый композитный материал на основе шунгита и углеродных волокон в графитовой матрице

## 17. ЛИТЕЙНЫЙ АЛЮМИНЕВО-КАЛЬЦИЕВЫЙ СПЛАВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

### Назначение:

Может быть использовано при получении изделий, работающих под действием высоких нагрузок при температурах до 300°C: детали летательных аппаратов (самолетов, вертолетов, ракет, беспилотных летательных аппаратов), автомобилей и других транспортных средств (тележек, прицепов), детали спортивного инвентаря и др.

### Новизна:

- Сплав, содержащий кальций, марганец, железо и кремний, дополнительно содержит медь и цинк при следующих концентрациях легирующих компонентов масс. %:
 

– Кальций	2,0-4,0
– Марганец	1,2-2,2
– Железо	0,2-0,8
– Кремний	0,1-0,5
– Медь	0,4-1,2
– Цинк	0,1-1,0
– Алюминий	основа
- Наличие легирующих элементов в заявленных пределах позволяет обеспечить выплавку данного сплава на основе вторичного сырья, высокий уровень технологических и механических свойств, в частности при испытаниях на растяжение: временного сопротивления ( $\sigma_b$ ), предела текучести ( $\sigma_{0,2}$ ) и относительного удлинения
- Новый композиционный алюминиевый сплав обладает следующими механическими свойствами:
  - В литом состоянии: временное сопротивление на разрыв не менее 180 МПа и относительным удлинением не менее 7%
  - В состоянии после литья (т.е. без термической обработки) сплав характеризуется следующими механическими свойствами на растяжение: временное сопротивление ( $\sigma_b$ ) — не менее 180 МПа, предел текучести ( $\sigma_{0,2}$ ) — не менее 140 МПа, относительное удлинение ( $\delta$ ) — не менее 7,0%

### Преимущества:

- Возможность получения фасонных отливок различными методами литья в металлические формы, обладающих, без последующей термообработки, высоким уровнем механических свойств
- Возможность получения отливок методами литья в кокиль, обладающих в состоянии после литья (т.е. без выполнения термической обработки) высокими механическими свойствами

### Уровень разработки технологии: TRL4

Патент №2741874 от 24.07.2020г. «Литейный алюминиево-кальциевый сплав на основе вторичного сырья»



Рис. 1 Отлитые образцы, полученные в виде фасонных разнотолщинных отливок



Рис. 2 Отлитые образцы согласно ГОСТ 1583-93

## 18. ЖАРОПРОЧНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ AL-CU-Y И AL-CU-ER

### Назначение:

Предназначено для изготовления жаропрочных литейных и деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической и деформационной обработкой, для деталей в авиастроении

### Новизна:

Сочетание технологичности при литье и обработке давлением с высокой прочностью и жаропрочностью достигается за счет особенностей легирования (массовое соотношение  $Cu/Y=2,8$ ;  $Cu/Er=1,5$ ), литья, термической или термомодеформационной обработок, формирующей структуру, состоящую из твердого раствора, упрочненного наноразмерными  $L_{12}$ -дисперсоидами и продуктами старения, и жаропрочных микронных частиц фаз кристаллизационного происхождения

### Преимущества:

Сочетание хорошего уровня литейных свойств с высоким уровнем прочности при комнатной и повышенных температурах, особенно предела текучести при растяжении и сжатии при температурах 200-300°C

### Уровень разработки технологии: TRL4

Патент № 2749073 от 30.10.2020г. «Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Y и Al-Cu-Er»

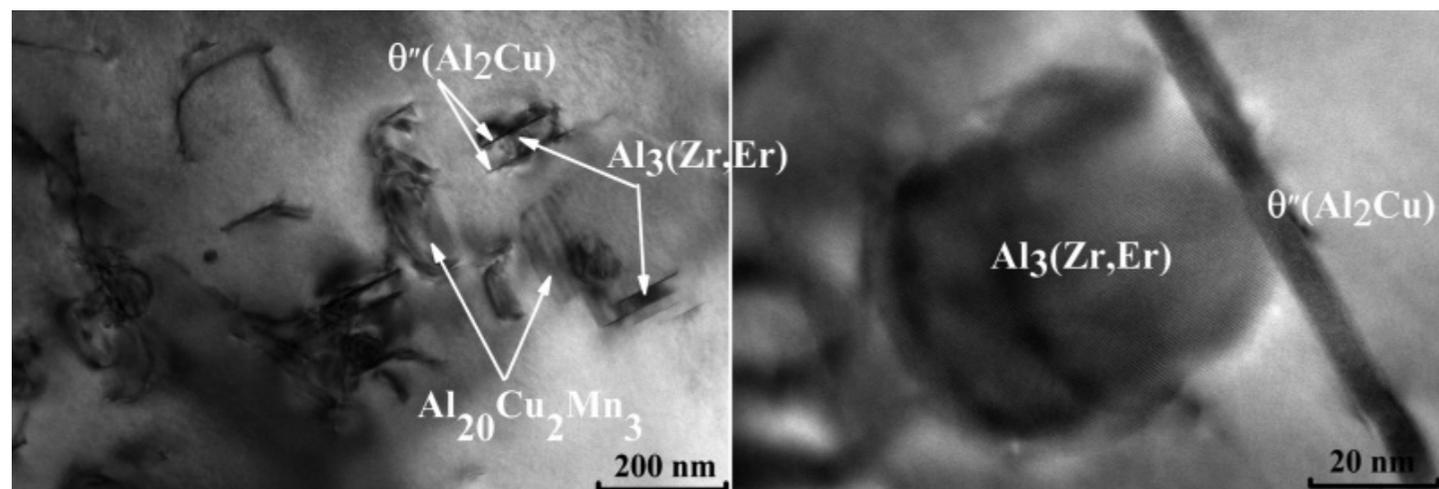


Рис. Микроструктура в просвечивающем электронном микроскопе, демонстрирует наноразмерные  $L_{12}$ -дисперсоиды и продукты старения

## 19. ЖАРОПРОЧНЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМ AL-CU-YB И AL-CU-GD

### Назначение:

Предназначено для изготовления жаропрочных литейных и деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической и деформационной обработкой, для деталей в авиастроении

### Новизна:

Сочетание технологичности при литье и обработке давлением с высокой прочностью и жаропрочностью достигается за счет особенностей легирования (массовое соотношение  $Cu/Yb$  и  $Cu/Gd$  примерно составляет 1,5-1,64), литья, термической или термомодеформационной обработок, формирующей структуру, состоящую из твердого раствора, упрочненного наноразмерными  $L_{12}$ -дисперсоидами и продуктами старения, и жаропрочных микронных частиц фаз кристаллизационного происхождения

### Преимущества:

Новые литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd с хорошим уровнем литейных свойств, высоким уровнем прочности при комнатной и повышенных температурах, особенно предела текучести при растяжении и сжатии при температурах 200-250°C

### Уровень разработки технологии: TRL4

Патент РФ №2785402 от 10.06.2022г. «Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd (варианты)»

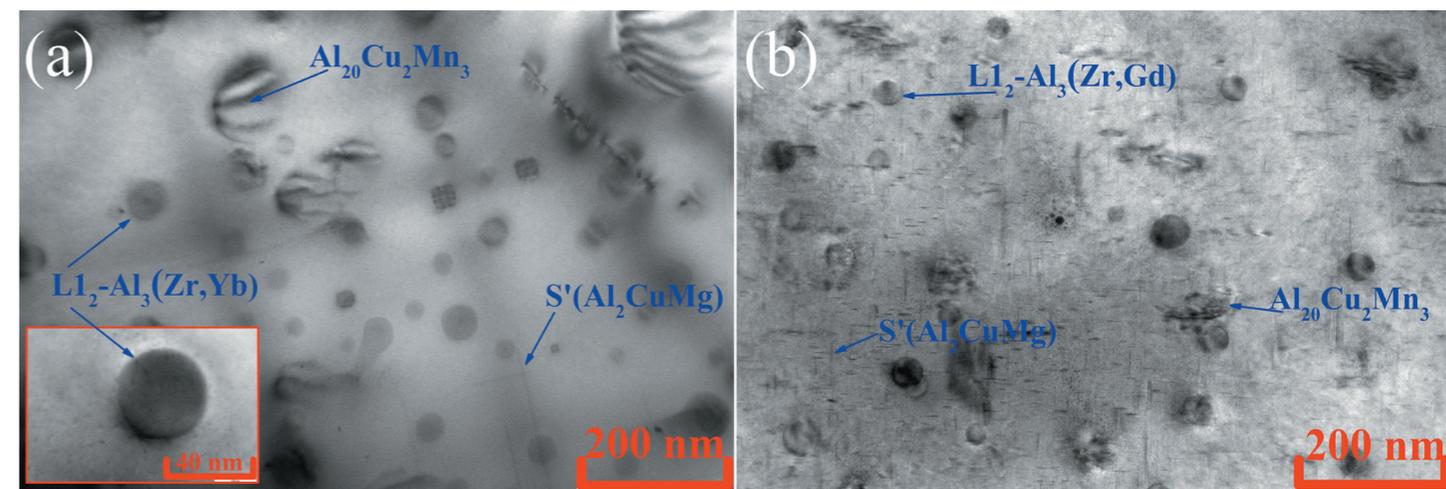


Рис. Микроструктура в просвечивающем электронном микроскопе, демонстрирует наноразмерные  $L_{12}$ -дисперсоиды и продукты старения

## 20. СПЛАВ С ГЕТЕРОГЕННОЙ СТРУКТУРОЙ СИСТЕМЫ AL-MG ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ

### Назначение:

Сплавы системы Al-Mg могут быть использованы для изготовления методом сверхпластической формовки полуфабрикатов и изделий в различных отраслях промышленности

### Новизна:

Сплав с гетерогенной структурой системы Al-Mg для высокоскоростной сверхпластической формовки, содержащий магний, железо марганец, хром, цирконий, алюминий и примеси, отличающийся тем, что он дополнительно содержит цинк, церий и скандий при следующем соотношении компонентов, мас. %: магний 4,5-5,5 цинк 0,1-1,0 церий 0,6-1,2 железо 0,5-0,9 марганец 0,1-0,7 хром 0,05-0,2 цирконий 0,10-0,30 скандий 0,05-0,3 примесные элементы до 0,2 алюминий остальное, кремний до 0,16 титан до 0,1 медь до 0,01

### Преимущества:

Повышение уровня прочностных свойств сплава (предел текучести 200-220 МПа) при сохранении высоких характеристик пластичности (15-20%) и обеспечение в получаемых полуфабрикатах гетерогенной структуры с объемной долей частиц эвтектического происхождения 4-6% и диапазон размера зерна 3-7 мкм

### Уровень разработки технологии: TRL4

Патент №2772479 от 20.05.2022 «Сплав с гетерогенной структурой системы Al-Mg для высокоскоростной сверхпластической формовки»



Рис. Модельные детали, полученные методом сверхпластической формовки: модель «крест» (а), модель «купол» (б)

## 21. НОВЫЙ ЗАЩИТНЫЙ КОМПОЗИТ ДЛЯ КОСМОСА И АВИАЦИИ НА ОСНОВЕ КАРБОНИТРИДА ГАФНИЯ

### Назначение:

Материал может применяться при изготовлении ответственных узлов ракетно-космической отрасли и в авиации

### Новизна:

- Карбонитрид гафния синтезировался за счет горения смеси гафния с углеродом в атмосфере азота
- Для получения объемного материала применялось искровое плазменное спекание
- Добавка карбида кремния повысила окислительную стойкость и снизила плотность почти вдвое без падения механических свойств

### Технические характеристики:

- Полученный порошок HfC 0,5 N 0,35 имеет кристаллическую структуру каменной соли с параметром решетки 0,4606 нм
- Температура плавления этого синтезированного керамического материала выше, чем у бинарного карбида гафния (HfC)
- Полученный объемный керамический материал имеет теоретическую плотность материала 98%, твердость по Виккерсу 21,3 ГПа и вязкость разрушения 4,7 МПа · м<sup>1/2</sup>

### Преимущества:

- Энергоэффективный подход, пригодный для промышленного производства
- Композит обладает высокой окислительной стойкостью при температурах выше 2000°C и высокими механическими и теплофизическими свойствами
- Сегменты конструкций, выполненные из нового композита, обеспечивают эффективную теплозащиту в точках полного торможения потока, испытывающих наибольшую тепловую нагрузку

### Уровень разработки технологии: TRL1

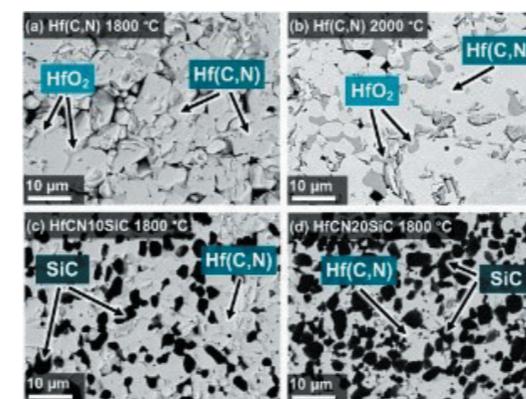


Рис.1 Микроструктура образцов Hf(C, N), спеченных при 1800 и 2000 °С, HfCN10SiC и HfCN20SiC, спеченных при 1800°С



Рис.2 Образец после испытания в высокоскоростном воздушном потоке

## 22. ВЫСОКОПРОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ RS-320 В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ СИЛУМИНАМ

### Назначение:

Материал RS-320 перспективен для применения в авиационно-космической отрасли, а также при изготовлении изделий народного потребления

### Новизна:

- Изделие спроектировано из нового высокопрочного материала RS-320, разработанного ОК РУСАЛ и НИТУ МИСИС в качестве альтернативы силуминам, применяемым в технологиях традиционного литья
- В процессе перепроектирования изделия применен метод топологической оптимизации

### Преимущества:

- Комплекс аддитивных технологий и современных подходов к проектированию деталей позволяет получать изделия, отвечающие высоким современным требованиям прочности, надежности, эффективности
- Применение нового материала RS-320 и топологической оптимизации снижает массу представленной детали на 33% при сохранении прочности

**Уровень разработки технологии:** TRL6



Рис. Функциональный прототип, напечатанный на установке EOS M290 из материала RS-320

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА

### 23. ЛИТНИКОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЗАЛИВКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОТЛИВОК, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ СОБОЙ ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ В АТМОСФЕРЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА В ФОРМЫ ИЗ ХТС

**Назначение:** Может быть использовано при литье из магниевых сплавов отливок, близких по форме к телам вращения, с преобладающей толщиной стенки не менее 4 мм., а так же при получении крупногабаритных литых деталей авиационных, вертолетных и ракетных летательных аппаратов, в т.ч. двигателей, а также других литых деталей летательных аппаратов, работающих под действием высоких нагрузок, обеспечивающим высокую эксплуатационную надежность при низком весе изделия

### Новизна:

Была получена отливка «Корпус промежуточной опоры», с наружным диаметром детали 1022 мм и диаметром внутренней полости 645 мм, и преобладающей толщиной стенки 8 мм где была применена литниковая система с кольцевым нижним подводом металла в полость отливки.

Данная отливка из магниевых сплавов МЛ 19 (ГОСТ 2856-79) является частью корпуса авиационного двигателя. Масса заливаемого металла составила 100 кг. Полученная отливка, после выбивки стержня, не имела литейных поверхностных и внутренних дефектов

### Преимущества:

- Применимость и эффективность использования сквозного цифрового моделирования технологического процесса литья тонкостенных крупногабаритных отливок из титановых сплавов
- Крупногабаритные, тонкостенные (2,5–3,5 мм) отливки из титановых сплавов эффективнее получать по безмодельной технологии

**Уровень разработки технологии:** TRL9

Патент №2738170 от 09.12.2020 «Литниковая система для заливки крупногабаритных тонкостенных отливок, представляющих собой тела вращения из магниевых сплавов в атмосфере защитного газа в формы из ХТС»



Рис. Заливка литейной формы и полученные отливки Корпус и крышка промежуточной опоры из сплава МЛ19

## 24. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ АВИАЦИИ

### Назначение:

Авиация ответственного назначения

### Новизна:

Разработан комплексный технологический процесс производства высоконагруженных крупногабаритных тонкостенных корпусных деталей из титановых сплавов для авиационно-космического турбиностроения

### Преимущества:

- Производство крупногабаритных тонкостенных литых заготовок из титановых сплавов с габаритным размером (диаметром) до 1500 мм
- Изготовление литых заготовок типа «стойка» из титановых сплавов с габаритным размером до 300 мм
- Процесс сварки с получением высоконагруженных крупногабаритных тонкостенных корпусных деталей из титановых сплавов с габаритным размером до 2300 мм и заданными характеристиками

**Внедрение:** ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение»

**Уровень разработки технологии:** TRL9

Госконтракт № 02.G25.31.0009 от 21.11.2012 г. Тема: «Разработка технологии производства высоконагруженных крупногабаритных тонкостенных деталей из титановых сплавов для авиационно-космического турбиностроения». Заказчик ПАО «ОДК-Уфимское моторостроительное производственное объединение». Успешно завершён в 2015 г.

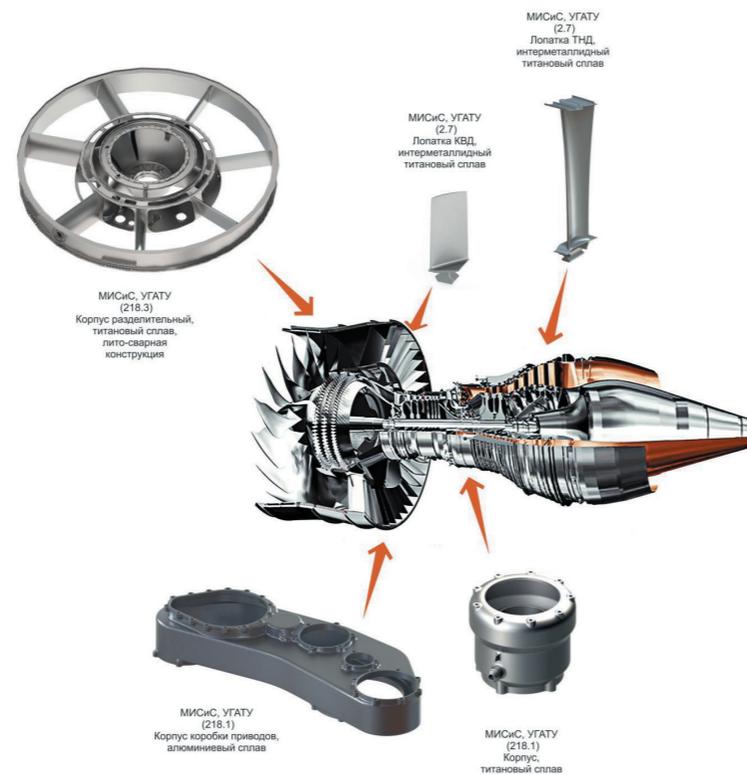


Рис. Разработка технологии производства высоконагруженных крупногабаритных тонкостенных деталей из титановых сплавов для авиационно-космического турбиностроения

## 25. ОТЛИВКИ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Назначение:** Авиастроение

### Новизна:

Разработано современное, высокотехнологичное производство крупногабаритных магниевых отливок из сплава МЛ19 для летательных аппаратов, основанное на технологии плавки и литья магниевых сплавов в защитной атмосфере, без использования хлоридных флюсов. Диаметр до 2м, вес 200 кг

### Преимущества:

- Повышение весовых характеристик перспективных приводов-генераторов
- Экономия в весе литых деталей
- Увеличение коррозионной стойкости в условиях внешней среды
- Увеличение срока эксплуатации агрегатов
- Снижение выбросов фторхлорсодержащих солей
- Технология получения корпусных отливок в разовые песчаные формы, получаемые по технологиям 3D печати (BinderJetting) или по технологии Pep-se

**Внедрение:** ПАО АК «Рубин» совместно с НИТУ МИСИС

**Уровень разработки технологии:** TRL8-9

Патент №2687359 от 13.05.2019 «Литейный магниевый сплав»



Рис. Отливка из магниевых сплавов

## 26. ОТЛИВКА «КОРПУС НАРУЖНЫЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ АВИАЦИОННОГО ГТД»

### Назначение:

Авиастроение. Изготовление уникальных крупногабаритных отливок из жаропрочных сплавов для газотурбинных двигателей

### Технические характеристики:

- Материал — Литейный никелевый жаропрочный сплав ВЖЛ14Н-ВИ ОСТ 1 90126-85
- Максимальный габаритный размер (диаметр) отливки — 1136мм
- Толщина стенки минимальная — 5 мм
- Диаметр внутренней полости — 960мм
- Масса отливки — 100 кг

### Новизна:

Отливка изготовлена в рамках мероприятий по отработке нового группового техпроцесса производства крупногабаритных жаропрочных отливок из сплава ВЖЛ14Н-ВИ для газотурбинных двигателей, включающего:

- Технологический процесс изготовления оболочковых форм для литья крупногабаритных отливок из жаропрочных сплавов (далее ТП1)
- Технологический процесс вакуумной плавки и разливки сплава ВЖЛ14Н-ВИ в оболочковые формы (ТП2)
- Особенностью разрабатываемого техпроцесса является использование новой для отечественного литейного производства технологии изготовления крупногабаритных керамических оболочковых форм
- Использование отечественных связующих и модельных материалов

### Преимущества:

- Увеличение производительности процесса по сравнению с традиционным ТП при сохранении текущего количества персонала
- Высокая пожаро- и взрывобезопасность, в отличие от существующего ранее ТП
- Высокая экологическая безопасность производства за счет исключения вредных и опасных веществ (аммиак, ацетон)
- Улучшения качества литых деталей

### Внедрение: ПАО «ОДК-Кузнецов»

### Уровень разработки технологии: TRL8-9

Заявка на патент. Регистрационный №2023110773 от 25.04.2023

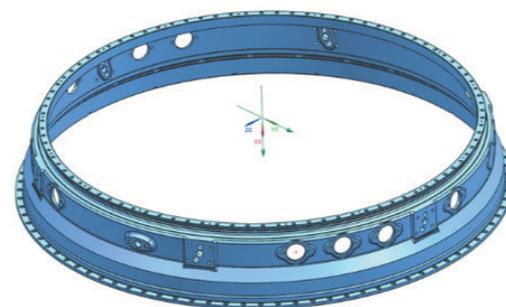


Рис.1 «Корпус». Диаметр 1000 мм. Высота 300 мм. Масса 150 кг. Сплав ВЖЛ14Н-ВИ

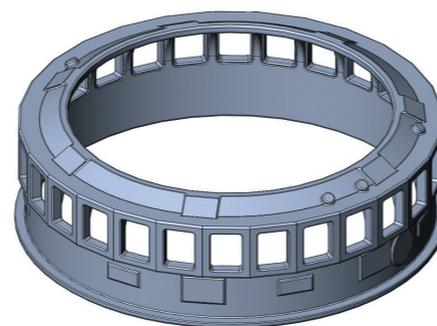


Рис.2 «Корпус наружный». Диаметр 1130 мм. Высота 200 мм. Масса 100 кг Сплав ВЖЛ14Н-ВИ

## 27. ТЕХНОЛОГИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ АНТИФРИКЦИОННОЙ БРОНЗЫ ДЛЯ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ СО СТАЛЬЮ

### Назначение:

В плунжерных насосах и системах гидроприводов самолетов

### Новизна:

Новая технология получения оловянно-свинцовых бронз непрерывным литьем вверх, что за счет улучшения распределения олова и свинца в структуре сплава и снижения их ликвации приводит к повышению надежности работающих пар трения бронза-сталь, а также многократно повышает коэффициент использования металла (КИМ) при получении бронзовых литых заготовок. Для улучшения свойств литых заготовок и предотвращения транскристаллитной структуры предложено проводить модифицирование расплава бронзы модификаторами, измельчающими зерно в слитке. Технология плавки бронзы включает в себя операцию модифицирования, при этом в приготовленный расплав вводят либо цирконий в количестве 0,03-0,08 мас.% в виде лигатуры Cu-50±5 мас.% Zr, либо бор в количестве 0,02-0,1 мас.% в виде лигатуры Ni-15±5 мас.%

### Преимущества:

Новая технология позволяет получать более качественные литые заготовки с КИМ более 90%, превосходящие традиционную технологию, имеющую КИМ 4-15% при худшем качестве.

**Внедрение:** ПАО «Авиационная Корпорация «Рубин» (ПАО АК «Рубин»), может быть внедрено на авиастроительные и авиаремонтные предприятия России и ближнего Зарубежья

### Уровень разработки технологии: TRL8

Патент № 2778039 от 12.08.2022 «Способ модифицирования структуры литых заготовок из антифрикционной бронзы для диффузионной сварки со сталью»



Рис. Пример биметаллических авиационных деталей, сделанных с применением литых заготовок из бронзы путем их диффузионной сварки со сталью, полученных по предлагаемой технологии

## 28. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛОКАЛЬНО АРМИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ НАГРУЗОК И ТЕМПЕРАТУР, ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Назначение:** Авиастроение

**Новизна:** Разработан и изготовлен опытный образец установки армирования, которая обеспечивает точное позиционирование волокон и профилированных пластин матричного компонента относительно заготовки, на которую осуществляется намотка, посредством использования системы с числовым программным управлением

**Преимущества:**

- Совместно с ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС» разработана технология и создано опытное производство высокомодульных волокон SiC, по структуре и свойствам сопоставимых с зарубежными аналогами
- Использование установки позволяет фиксировать положение волокон в процессе намотки без дополнительных операций по сварке или склеиванию, что значительно оптимизирует технологический процесс получения изделий из металломатричных композитов

**Внедрение:** ПАО «ОДК «УМПО». Изготовлена опытная партия волокон в количестве 40 км. Изготовлены опытные образцы локально армированных титановых деталей перспективных авиадвигателей «Корпус опоры» и «Макет колеса ротора компрессора»

**Уровень разработки технологии:** TRL7

Патент №2761530 от 07.10.2021 «Способ получения цилиндрических армированных элементов для изготовления деталей моноколеса газотурбинного двигателя»



Рис. Армированная деталь из титановых сплавов для перспективных авиационных газотурбинных двигателей

## 29. ТЕРМОСТОЙКАЯ ВЫСОКОПРОЧНАЯ ПРОВОЛОКА ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ AL-CU-MN-ZR

**Назначение:** Проволока из алюминиевого сплава предназначена для работы в широком диапазоне температур, до 400 °С. Может быть использована для получения изделий электротехнического назначения, от которых требуется сочетание высокой электропроводности, достаточной прочности и термостойкости. Среди них контактные провода скоростного железнодорожного транспорта, бортовые провода самолетов и космических аппаратов, жилы кабелей для установок погружных электронасосов и т.д.

**Новизна:**

Благодаря сочетанию оригинального состава и специальной технологии, включающей получение литой заготовки методом литья в электромагнитный кристаллизатор с последующей деформационно-термической обработкой, в проволоке реализуется уникальная структура. Особенностью структуры проволоки является наличие наноразмерных дисперсоидов фаз  $Al_{20}Cu_3Mn_3$  и  $Al_3Zr$ , равномерно распределенных в алюминиевой матрице. Характеристики проволоки диаметром 1-3 мм (после 3-часового нагрева при 400 °С):

- Временное сопротивление на разрыв - более 360 МПа
- Предел текучести - более 330 МПа
- Относительное удлинение - более 5 %
- Удельная электропроводность - более 44 % IACS

**Преимущества:**

- Проволока из сплава системы Al-Cu-Mn-Zr превосходит существующие и применяемые в промышленности алюминиевые сплавы по сочетанию электропроводности, прочности и термостойкости
- Может быть использована взамен медных сплавов проводникового назначения, что предполагает значительный экономический эффект. В частности, при замене материала жил кабеля для нефтяной промышленности (кабеля УЭЦН) с медного сплава на предлагаемый алюминиевый стоимость может снизиться в 3 раза

**Внедрение:**

На предприятии ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» (г. Красноярск) по технологии ElmaCast™ была получена прутковая заготовка сплава системы Al-Cu-Mn-Zr, а из нее в лабораторных условиях проволока различных диаметров

**Уровень разработки технологии:** TRL5

Патент № 2778037, публ. 12.08.2022 Бюл. № 23 «Способ получения термостойкой высокопрочной проволоки из алюминиевого сплава»

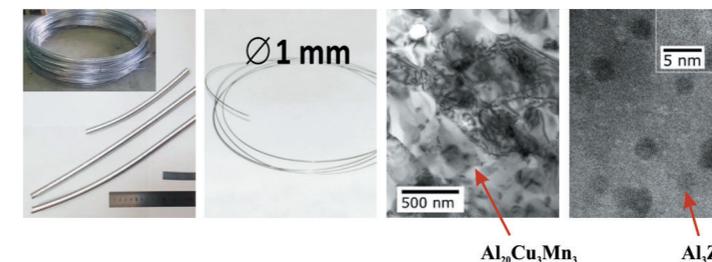


Рис. Исходная заготовка сплава системы Al-Cu-Mn-Zr (а), полученная из нее проволока (б) и ее структура (в,г)

### 30. СПОСОБ ЗАДЕЛКИ ДЕФЕКТОВ В ЛИТЫХ ДЕТАЛЯХ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**Назначение:**

Способ устранения пористости и восстановления герметичности в фасонных отливках из магниевых сплавов в авиастроении

**Новизна:**

- Разработан способ нанесения, пропитывающего металлического легкоплавкого сплава на основе галлия, жидкого при температуре нанесения на поверхность заделываемого места магниевой отливки, включающий нанесение жидкого легкоплавкого металлического сплава при комнатной температуре на поверхность заделываемой литой детали, последующее его распределение по поверхности литой, проведение термической обработки при температуре 350-500°C
- Прочность обеспечивается за счет растворения галлия в магниевом сплаве отливки и сохранении исходной структуры сплава (отсутствие хрупких фаз на основе галлия)

**Преимущества:**

- Повышение прочности отливок за счет обеспечения заделки дефектов (пористости) магниевых отливок
- Отсутствие горячих трещин в отливке, так как способ не предполагает плавления ремонтируемого участка отливки, как это происходит при заварке
- Высокая прочность материала отливки в месте исправления дефектов

**Уровень разработки технологии:** TRL4

Патент №2718807 от 14.04.2020 «Способ заделки дефектов в литых деталях из магниевых сплавов»

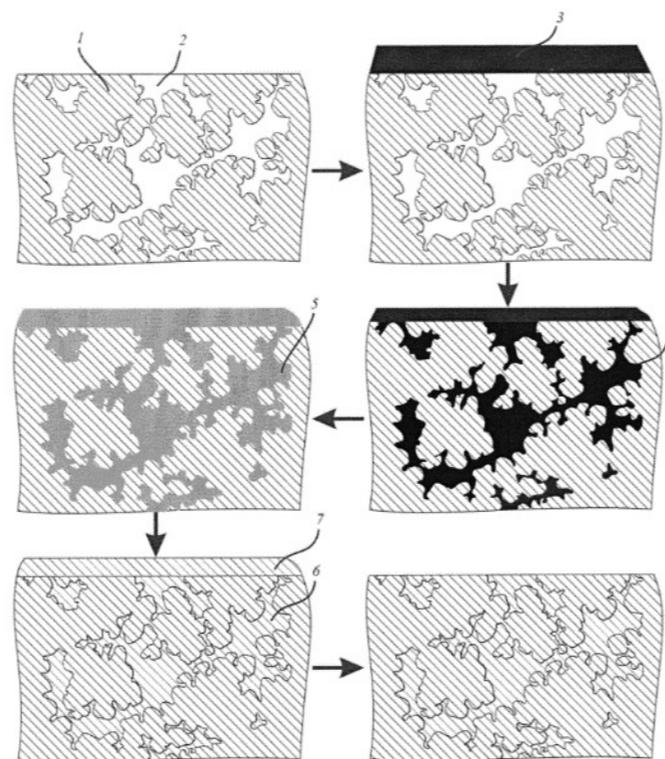


Рис. Схема процесса заделки дефектов, где отливка 1, дефекты (поры) в отливке 2, легкоплавкий сплав на поверхности отливки 3, легкоплавкий сплав в порах 4, легкоплавкий сплав в порах с растворенным магниевым сплавом 5, магниевый сплав в порах 6, богатый галлием поверхностный слой 7

### 31. ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЛЕГКОГО И ПРОЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ И УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

**Назначение:**

Может заменить импортные аналоги, в том числе применяемые в авиастроении, для создания элементов силового набора и корпусных конструкций самолетов

**Новизна:**

- В качестве армирующего материала использовалось углеродное волокно российского производства
- Для изготовления матрицы, вместо обычной эпоксидной смолы, впервые был применен порошок полиэфирсульфона
- Использование модифицированного углеродного волокна позволило добиться стабильной структуры полученного композита и значительно улучшить его механические свойства и устойчивость к воздействию высоких температур
- Предложенная технология создания композитов на основе полиэфирсульфона и углеродных волокон позволяет регулировать свойства конечного материала в зависимости от степени наполнения полимерной матрицы волокнами

**Преимущества:**

- Аморфный термопластичный полимер устойчив к воздействию высоких температур, пара и различных химикатов
- Отличная коррозионная стойкость
- Большая механическая прочность при малом весе
- Сохранение эксплуатационных свойств под воздействием агрессивной среды, такой как авиатопливо
- Может быть легко переработан или утилизирован, что делает его экологичнее аналогов
- Оптимальное содержание углеродных волокон для авиакompозитов на основе полиэфирсульфона составляет 60-70% от общей массы конструкции
- Изготовленные из них детали и конструкции позволяют снизить конечный вес самолета, а значит и потребление топлива, тем самым снижая стоимость эксплуатации воздушного судна и воздействие на окружающую среду

**Уровень разработки технологии:** TRL2



Рис. Легкий и прочный композиционный материал на основе полимерной матрицы и углеродных волокон

## 32. СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И МЕХАНИЗМЫ СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ БЕТА-СТАБИЛИЗАТОРАМИ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

### Назначение:

Разработка рекомендации к конкретным химическим составам новых сплавов с низкотемпературной сверхпластичностью, которые необходимы для развития авиакосмической отрасли РФ

### Новизна:

- Установление закономерностей влияния комплексного легирования бета-стабилизаторами с разной диффузионной способностью и образующими дисперсные частицы и потенциально способными сдерживать рост зерен элементами на формирование зеренной структуры
- 0.5% Fe достаточно для обеспечения хорошей сверхпластичности сплава при 700–775 °С и высоких прочностных свойствах при комнатной температуре без существенной потери пластичности
- Сплав Ti-4Al-3Mo-1V-0.9Ni-0.1B обладает хорошим сочетанием низкотемпературной сверхпластичности и механических свойств при комнатной температуре
- В сплавах Ti-4Al-1V-1Fe-1Ni-(2-5Mo)-0.1B увеличение содержания молибдена до 5% позволяет получить высокие удлинения и значительно снизить напряжение течения при низкой температуре сверхпластической деформации 625 °С

### Преимущества:

- Низкая температура сверхпластической формовки
- Высокая прочность при комнатной температуре

**Уровень разработки технологии:** TRL4

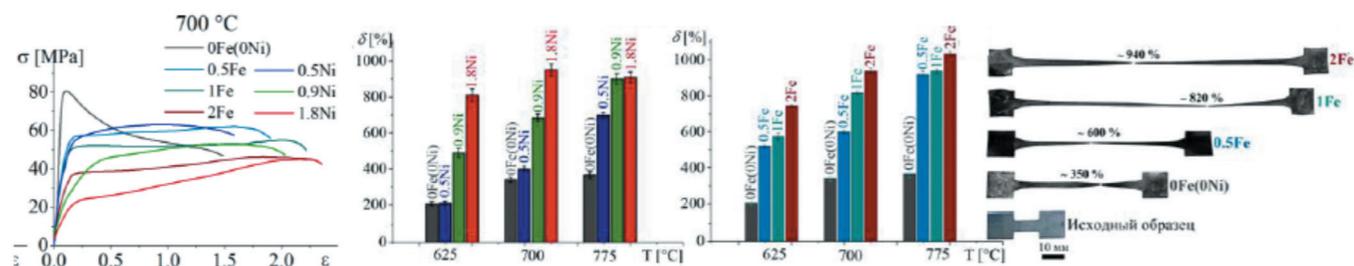


Рис. Показатели сверхпластичности

## ЦЕНТР ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ «ПЛАТФОРМА ОТКРЫТЫХ ИННОВАЦИЙ МИСИС»

### Сетевое сотрудничество

Центр трансфера технологий формирует партнёрскую сеть в целях взаимодействия по вопросам развития технологий, инноваций по направлениям специализации: материаловедение, металлургия, горное дело.

Создание сети направлено на решение следующих задач:

- организация сетевого взаимодействия, включая обмен знаниями и опытом, информацией о технологических (инновационных) запросах и предложениях по направлениям специализации сети;
- оказание содействия трансферу технологий, включая поиск потребителей и поставщиков технологий, формирование инновационных предложений, в том числе посредством цифровой платформы «Открытые инновации МИСИС» [www.innovations.misis.ru](http://www.innovations.misis.ru);
- оказание содействия внедрению инновационных разработок, современных технологических и производственных решений по направлениям специализации сети;
- создание общего информационного пространства для обеспечения трансфера технологий по направлениям специализации сети при использовании платформы «Открытые инновации МИСИС»;
- информационное продвижение инициатив и результатов работы участников сети.

### Цифровое решение принципа «открытые инновации»

Цифровой инструмент сопоставления технологических запросов и технологических предложений, представленных партнерами сети ЦТТ МИСИС позволяет гибко настраивать и структурировать данные, осуществлять поиск по установленным категориям и ключевым словам, визуализировать поиск на технологическом радаре, организовывать рабочее место технотракера и технологического скаута.

### Услуги ЦТТ для партнеров

- Проведение маркетинговых исследований и для выявления наиболее перспективных областей развития технологий;
- Проведение тематических выставочно-ярмарочных мероприятий по направлениям: материаловедение, металлургия и горное дело для установления коммуникации и трансфера знаний и технологий;
- Содействие партнерам сети при заключении договоров НИОКР и договоров на использование, распоряжение исключительным правом на РИД;
- Поиск потенциальных партнеров инновационной экосистемы для возможности реализации совместных проектов;
- Проведение технологического скаутинга по заявленным технологическим вопросам и возможностям;
- Содействие в обеспечении правовой охраны результатов интеллектуальной деятельности (РИД) организаций-партнеров;
- Проведение патентных исследований;
- Подготовка и оформление пакета документов необходимых при распоряжении правами на РИД.







Москва, Ленинский проспект, д. 4 стр. 1  
+7 495 638 45 19  
[imcenter@misis.ru](mailto:imcenter@misis.ru)

