



**МИСИС**  
УНИВЕРСИТЕТ  
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

# НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ

## «НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ»

Университет МИСиС имеет уникальные возможности реализации полного цикла создания материала: от предсказательного моделирования на атомном уровне структур и свойств новых материалов через изготовление и всестороннее исследование опытных образцов до разработки и внедрения технологических процессов получения разрабатываемых материалов. Развитые партнерские отношения с производственными компаниями позволяют сфокусировать материаловедческие разработки на наиболее востребованных направлениях индустрии. Научно-исследовательская и инновационная деятельность НИТУ МИСИС направлена на решение широкого круга задач двигателестроения, авиастроения, машиностроения, обеспечивающих в том числе

- импортозамещение;
- повышение надежности и ресурса деталей и механизмов;
- создание новых материалов и технологий.

В сборнике приведены отдельные результаты, иллюстрирующие проводимые работы в интересах развития промышленного комплекса страны. Глубокие компетенции научных групп НИТУ МИСИС в области материаловедения, металлургии, аддитивного производства, 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 промышленности.

СОДЕРЖАНИЕ:

ПОКРЫТИЯ

|     |                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Способ электроискрового легирования в вакууме, совмещенный с катодно-дуговым осаждением .....                                                                                                                                                  | 7  |
| 2.  | Способ вакуумной карбидизации поверхности металлов .....                                                                                                                                                                                       | 8  |
| 3.  | Твердые гидрофобные покрытия, обладающие противообрастающим, антиледовым и самозалечивающим эффектом, предназначенные для защиты объектов морской и прибрежной инфраструктуры от трибокоррозионного, абразивного и кавитационного износа ..... | 9  |
| 4.  | Технология нанесения защитных покрытий для ответственных узлов и деталей современной техники.....                                                                                                                                              | 10 |
| 5.  | Интерметаллические покрытия с использованием механохимического синтеза и последующей лазерной обработки .....                                                                                                                                  | 11 |
| 6.  | Формирование защитных покрытий на поверхности интерметаллического сплава на основе гамма-алюминиды титана.....                                                                                                                                 | 12 |
| 7.  | Способ устранения дефектов и поверхностного упрочнения аддитивных изделий из сплавов на основе никеля и титана .....                                                                                                                           | 13 |
| 8.  | Бескислородное защитное покрытие в системе Zr-(Si)-B-N для повышения срока службы оптических устройств и деталей лазерной техники и способ его получения .....                                                                                 | 14 |
| 9.  | Способ получения адаптивного износостойкого покрытия Ti-Al-Mo-N для защиты от изнашивания в меняющихся условиях трения .....                                                                                                                   | 15 |
| 10. | Полимер-квазикристаллическая порошковая композиция для получения антикоррозийных защитных покрытий.....                                                                                                                                        | 16 |
| 11. | Поликристаллические алмазные пленки.....                                                                                                                                                                                                       | 17 |
| 12. | Электродные материалы и технологии электроискрового легирования для повышения ресурса деталей техники.....                                                                                                                                     | 18 |

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОРОШКИ

|     |                                                                                                                                                                                               |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 13. | Ультравысокотемпературная керамика на основе высокоэнтропийных карбидов (ВЭК) переходных металлов IV-VI групп для работы в экстремальных условиях.....                                        | 19 |
| 14. | Композитные порошки для 3D-печати .....                                                                                                                                                       | 20 |
| 15. | Композиционный материал на основе углеродных наполнителей и карбонизованных полимерных матриц.....                                                                                            | 21 |
| 16. | Гибридный композиционный материал .....                                                                                                                                                       | 22 |
| 17. | Способ получения материала с разноуровневой пористостью на основе порошков гематита .....                                                                                                     | 23 |
| 18. | Высокопористые металлические материалы на основе полых наноструктурированных микросфер металлов.....                                                                                          | 24 |
| 19. | Нанокристаллический гексагональный нитрид бора .....                                                                                                                                          | 25 |
| 20. | Алюминиевый композит с добавлением углеродных нановолокон.....                                                                                                                                | 26 |
| 21. | Способ изготовления анизотропного гексаферрита бария.....                                                                                                                                     | 27 |
| 22. | Технология получения локально армированных деталей из титановых сплавов, работающих в условиях повышенных нагрузок и температур, для перспективных авиационных газотурбинных двигателей ..... | 28 |

## НОВЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 23. Новый термостойкий материал для ЛЭП .....                                                                                                                                     | 29 |
| 24. Термостойкий электропроводный алюминиевый сплав .....                                                                                                                         | 30 |
| 25. Литейный алюминиево-кальциевый сплав на основе вторичного сырья .....                                                                                                         | 31 |
| 26. Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Y и Al-Cu-Er .....                                                                             | 32 |
| 27. Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd .....                                                                            | 33 |
| 28. Коррозионностойкие алюминиево-кальциевые сплавы, упрочняемые наночастицами фазы L12 без использования закалки .....                                                           | 34 |
| 29. Деформируемый алюминиевый сплав на основе системы Al-Mg-Sc-Zr с добавками Er и Yb .....                                                                                       | 35 |
| 30. Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Y и Al-Cu-Er .....                                                                             | 36 |
| 31. Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd .....                                                                            | 37 |
| 32. Термостойкая высокопрочная проволока из алюминиевого сплава системы Al-Cu-Mn-Zr .....                                                                                         | 38 |
| 33. Заэвтектический деформируемый алюминиевый сплав для поршней .....                                                                                                             | 39 |
| 34. Сплав с гетерогенной структурой системы Al-Mg для высокоскоростной сверхпластической формовки .....                                                                           | 40 |
| 35. Литейный магниевый сплав с повышенной стойкостью к возгоранию на воздухе .....                                                                                                | 41 |
| 36. Высокопрочный литейный магниевый сплав .....                                                                                                                                  | 42 |
| 37. Способ заделки дефектов в литых деталях из магниевых сплавов .....                                                                                                            | 43 |
| 38. Литниковая система для заливки крупногабаритных тонкостенных отливок, представляющих собой тела вращения из магниевых сплавов в атмосфере защитного газа в формы из ХТС ..... | 44 |
| 39. Технология модифицирования расплава при изготовлении литых заготовок из антифрикционной бронзы для диффузионной сварки со сталью .....                                        | 45 |

## ПОКРЫТИЯ

### 1. СПОСОБ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ В ВАКУУМЕ, СОВМЕЩЕННЫЙ С КАТОДНО-ДУГОВЫМ ОСАЖДЕНИЕМ

#### Назначение:

Может быть использовано при нанесении металлических и металлокерамических покрытий на металлы и сплавы для защиты от износа, окисления, коррозии, придания особых физических и электрических свойств, а также для ремонтного восстановления размеров деталей

#### Новизна:

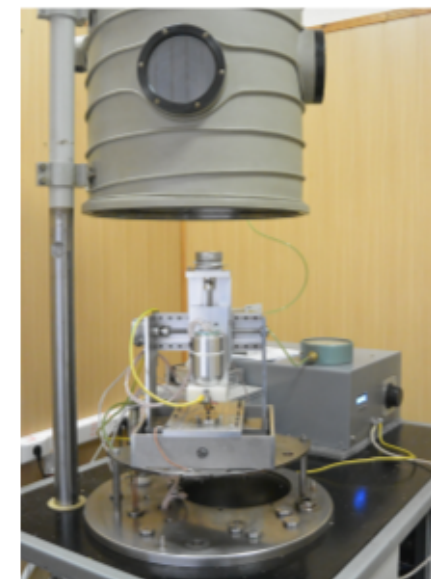
- При переносе технологии электроискрового легирования в вакуум становится возможным совмещение процессов электроискрового легирования и импульсного катодно-дугового осаждения. Ключевыми параметрами, обеспечивающими режим совмещения, являются: давление, напряжение, длительность и частота импульсов разряда
- Формирование на поверхности многослойного покрытия, нижний слой которого представлен сплавом материала электрода и подложки, а верхние слои представляют собой продукты оплавления в электроискровом процессе катодно-дугового покрытия, сформированного при распылении того же электрода

#### Преимущества:

Многokратное увеличение толщины электроискрового покрытия при сохранении низкой шероховатости поверхности

#### Уровень разработки технологии: TRL5

**Патент № 2729278 от 18.12.2019** «Способ электроискрового легирования в вакууме, совмещенный с катодно-дуговым осаждением»



Электроискровое легирование

Импульсное дуговое испарение

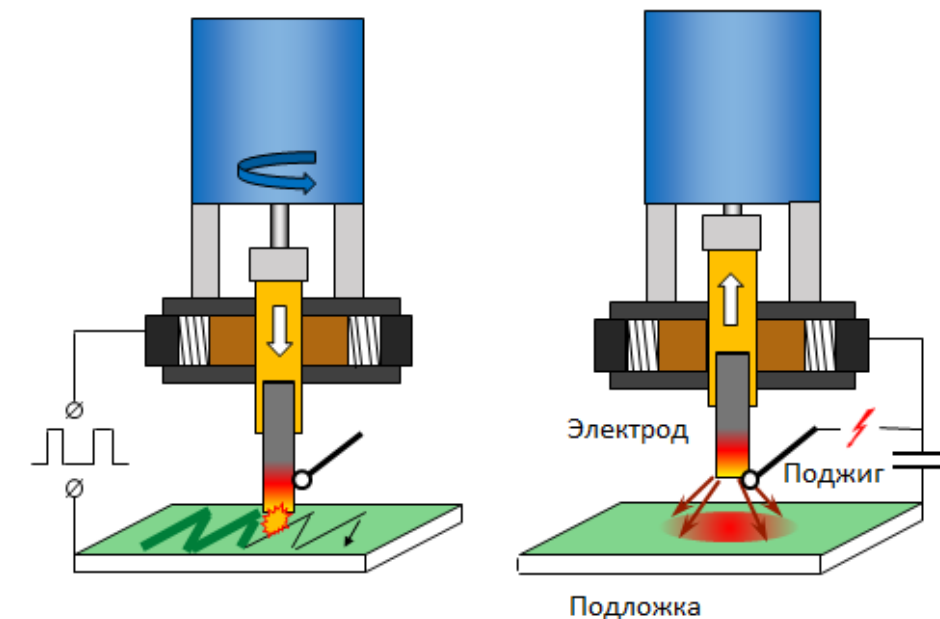


Рис. Экспериментальная вакуумная установка с модулем трехосевого сканирования поверхности

## 2. СПОСОБ ВАКУУМНОЙ КАРБИДИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

### Назначение:

Покрытие может быть использовано для повышения износостойкости, стойкости к абразивному износу и трибокоррозии различных деталей авиационной техники, транспортного машиностроения, химической промышленности, морской техники

### Новизна:

- Формирование на поверхности переходных металлов IV–VI групп и сплавов на их основе, твердого износостойкого покрытия толщиной до 200 мкм, содержащего карбиды соответствующего металла размером 1–10 мкм в металлической матрице и частицы свободного углерода размером менее 3 мкм, а также углеродного покрытия толщиной до 20 мкм, состоящего из слоев толщиной менее 200 нм и содержащего частицы карбида металла размером менее 100 нм
- Подача аргона или его смеси с газами из ряда алифатических углеводородов с числом атомов углерода не более трех, при молярной доле углеводорода в смеси 0%–80%
- Стабилизация давления в диапазоне 0,05 Па–3 Па

### Преимущества:

- Снижение времени обработки
- Высокое содержание карбидной фазы в покрытии
- Формирование твердого слоя аморфного углерода на поверхности
- Снижение коэффициента трения и скорости износа

Уровень разработки технологии: TRL5

Патент № 2725941 от 18.12.2019 «Способ вакуумной карбидизации поверхности металлов»

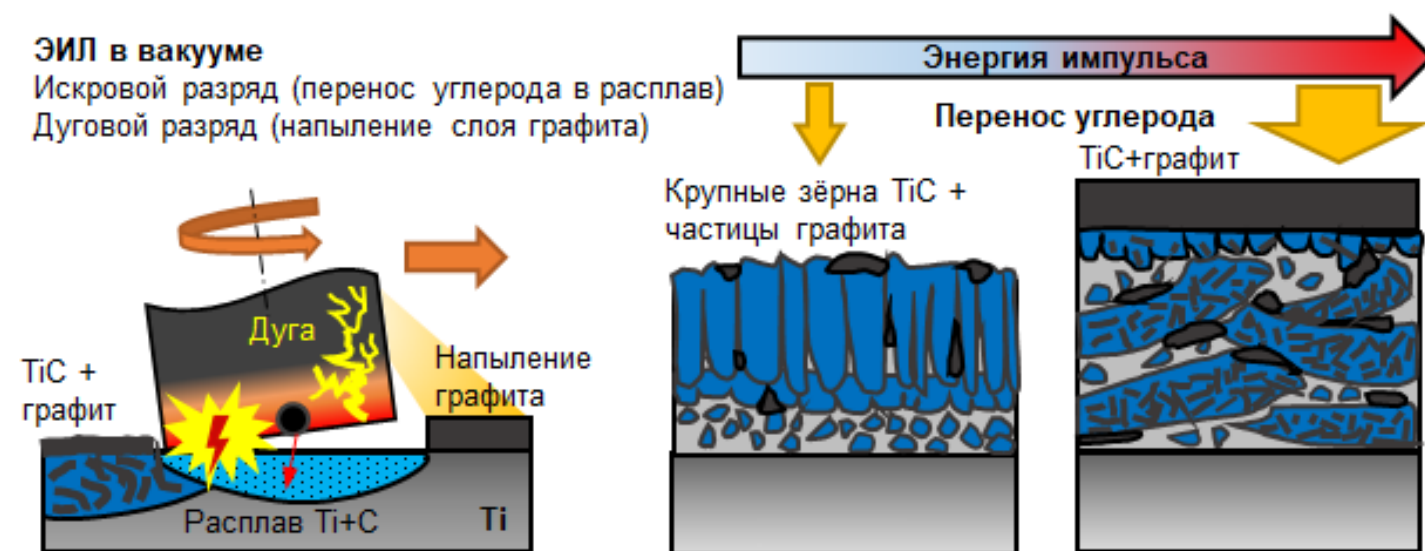


Рис. Способ вакуумной карбидизации поверхности металлов

## 3. ТВЕРДЫЕ ГИДРОФОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ОБЛАДАЮЩИЕ ПРОТИВООБРАСТАЮЩИМ, АНТИЛЕДОВЫМ И САМОЗАЛЕЧИВАЮЩИМ ЭФФЕКТОМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ И ПРИБРЕЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ ТРИБОКОРРОЗИОННОГО, АБРАЗИВНОГО И КАВИТАЦИОННОГО ИЗНОСА

### Назначение:

- 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 объектов морской, авиационной и космической техники, крупногабаритных металлоконструкций, электрических подстанций, антенных систем, различных радиотехнических систем и устройств от обледенения
- 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.

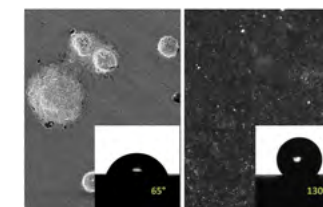


Рис. 2 Поверхность стали и покрытия C-PTFE/TiC после длительных коррозионных испытаний в морской воде

#### 4. 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 ( $\text{Cr}_3\text{C}_2 - \text{NiAl}$ ) 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»

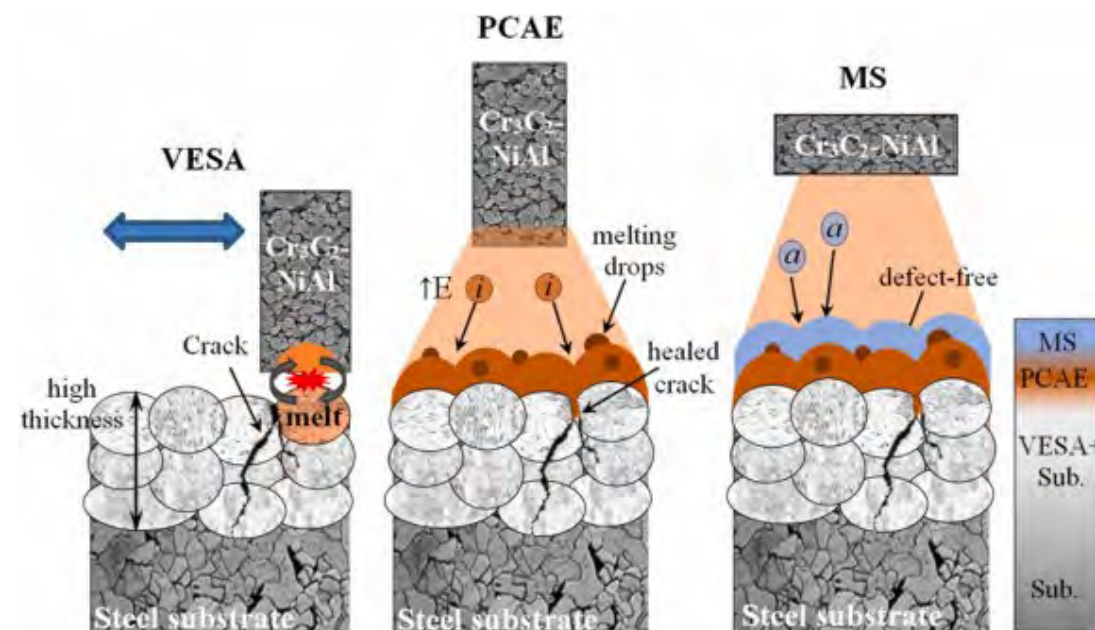


Рис. Дизайн покрытий, полученных по гибридной технологии VESA-PCAE-MS с использованием электродов  $\text{Cr}_3\text{C}_2 - \text{NiAl}$

#### 5. 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:** TRL 1-2

**Патент № 2677575** «Способ получения интерметаллических покрытий с использованием механохимического синтеза и последующей лазерной обработки»

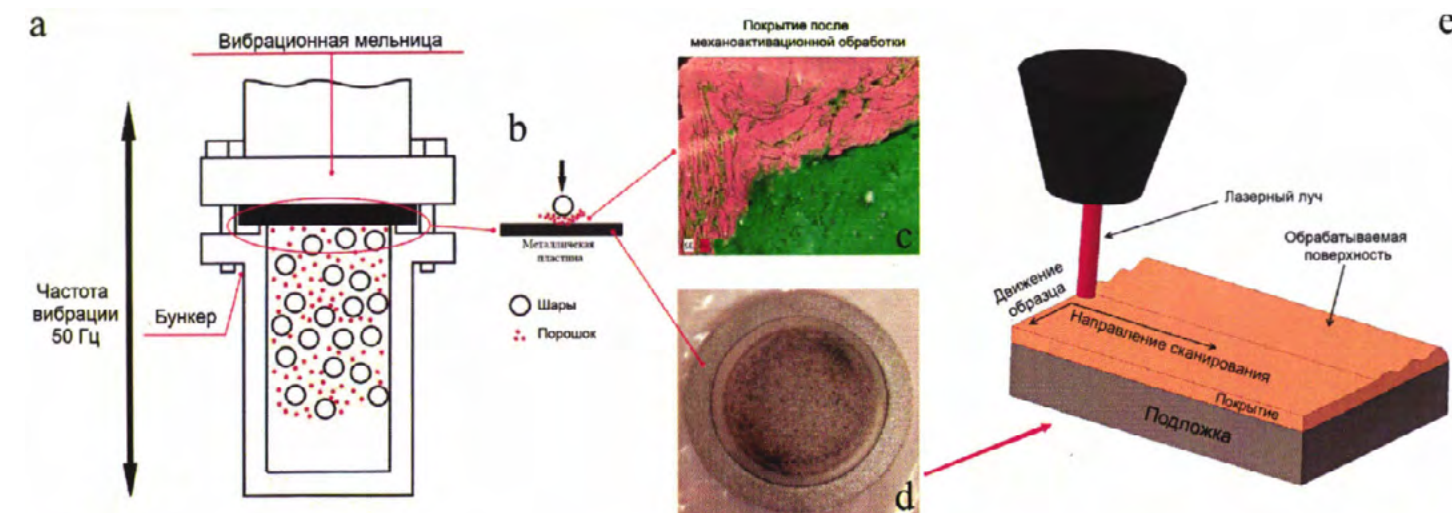


Рис. Схема получения покрытия на основе интерметаллического соединения NiAl на плоском железном образце: (а) схема крепления образца подложки в вибрационном шаровом механическом активаторе, (б) схема формирования покрытия на основе порошков Ni и Al на подложке, (с) микрофотография покрытия, после нанесения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

## 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:** TRL 2–3

**Патент № 2716570** «Способ напыления защитных покрытий для интерметаллического сплава на основе гамма-алюминидов титана»



Рис. Процесс высокоскоростного (сверхзвукового) газопламенного напыления характеризуется высокой кинетикой процесса, скорость истечения газа составляет 1000–2000 м/с, при этом осаждаемый материал не расплавляется полностью, а лишь частично. В результате формируется плотное покрытие с пористостью менее 3%, имеющее высокую адгезию к подложке, практически без оксидных включений характерных для классического газопламенного или плазменного напыления. Нагрев порошка происходит за счет энергии сгорания топлива (керосин, ацетилен, пропан) в окислителе (кислороде, воздухе), а ускорение — за счет высокого давления в камере сгорания, за которой установлено сопло Лавалья.

## 7. 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 ( $\text{Ni}_3\text{Al}$ ,  $\text{AlCo}$ )
- Поверхность характеризуется низкой шероховатостью  $R_a = 1,98$  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»

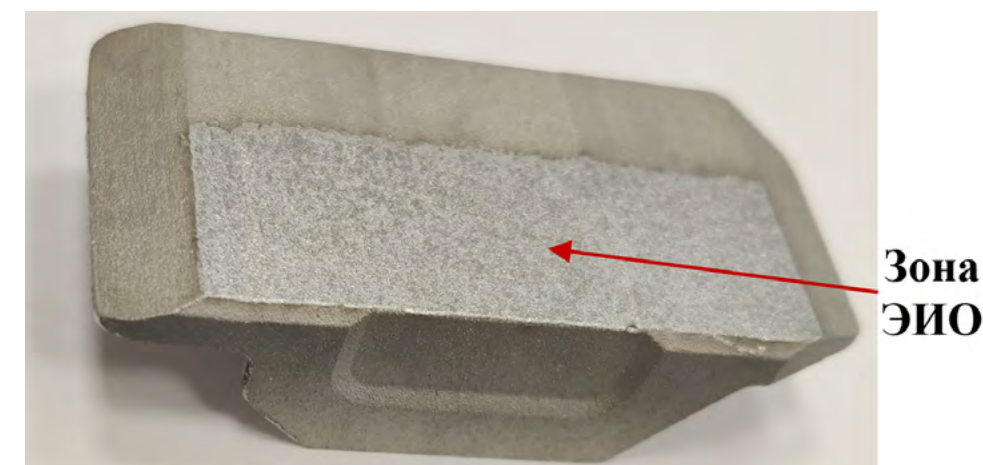


Рис. Защитная накладка композитной лопатки турбинного двигателя после ЭИО

## 8. БЕСКИСЛОРОДНОЕ ЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ В СИСТЕМЕ Zr-(Si)-B-N ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И ДЕТАЛЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ И СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ

### Назначение:

Относится к разработке новых тонкоплёночных материалов для повышения срока службы оптических устройств и деталей лазерной техники, и способа их осаждения. Среди компонентов для модификации защитными покрытиями можно выделить: фотоэлектронные преобразователи (ФЭП) солнечных батарей наземного и космического базирования, иллюминаторы летательных аппаратов, линзы, лазерные зеркала и окна и др.

### Новизна:

- Предложен способ осаждения покрытий, включающий оптимальные параметры для магнетронного распыления в режиме постоянного и импульсного токов
- Разработаны составы оптически-прозрачных покрытий в системе Zr-(Si)-B-N
- Покрытия, полученные по оптимальным режимам и имеющие оптимальный состав, обладают уникальным комплексом свойств (высокие оптические характеристики, упругопластические свойства, абразивная стойкость, термическая стабильность и стойкость к тепловым повреждениям) и могут успешно применяться для повышения срока службы оптических устройств и деталей лазерной техники

### Преимущества:

- Повышенный срок службы за счёт улучшения таких характеристик упрочняемых изделий, как твёрдость, трещиностойкость, износостойкость, эрозионная стойкость к воздействию микрочастиц
- Термическая и химическая стабильность
- Порог лазерно-индуцированного повреждения
- Стойкость к тепловым повреждениям (в случае изделий лазерной техники)

Уровень разработки технологии: TRL4

Ноу-хау № 3-732-2002 ОИС\_ЦТТ от 17.02.2022 «Бескислородное защитное покрытие в системе Zr-(Si)-B-N для повышения срока службы оптических устройств и деталей лазерной техники и способ его получения»



Рис. Элемент конструктивной оптики с нанесённым односторонним покрытием Zr-Si-B-N

## 9. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ АДАПТИВНОГО ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ Ti-AL-MO-N ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ИЗНАШИВАНИЯ В МЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ

### Назначение:

Износостойкие покрытия для защиты от изнашивания в парах трения в машиностроении, металлообработке и нефтедобыче

### Новизна:

- Высокие трибологические характеристики, обеспечиваемые наличием молибденсодержащей фазы и возможностью образования в зоне трения твердой смазки  $\text{MOO}_3$
- Способ получения износостойкого покрытия на основе TiN с добавлением  $\text{Mo}_2\text{N}$  методом PVD на твердосплавном изделии характеризуется тем, что покрытие наносится ионно-плазменным вакуумно-дуговым осаждением послойно при вращении подложек с поочередным осаждением материала катодов VT5 и Мо дугами с током в 135 и 100 А соответственно и приложением к покрываемому изделию отрицательного потенциала смещения, равного 80–140 В, в атмосфере смеси газов аргона и азота с парциальным давлением последнего 0,3–0,5 Па

### Преимущества:

- Повышение стойкости покрытого изделия к изнашиванию в различных условиях внешнего воздействия, в том числе трению при комнатной и повышенной температуре, абразивному изнашиванию, ударным нагрузкам
- Получаемые покрытия обладают нанокристаллической структурой с размером слоев порядка 40 нм, что обеспечивает высокие физико-механические характеристики (твёрдость, вязкость)

Уровень разработки технологии: TRL4

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

Ноу-хау № 25-217-2015 от 15.07.2015 «Способ получения ионно-плазменного вакуумно-дугового нанокристаллического покрытия на основе Ti-Mo-N-Ni, адаптируемого к меняющимся условиям трения, на твердосплавном режущем инструменте расширенной области применения для высокоскоростного сухого резания труднообрабатываемых сплавов»

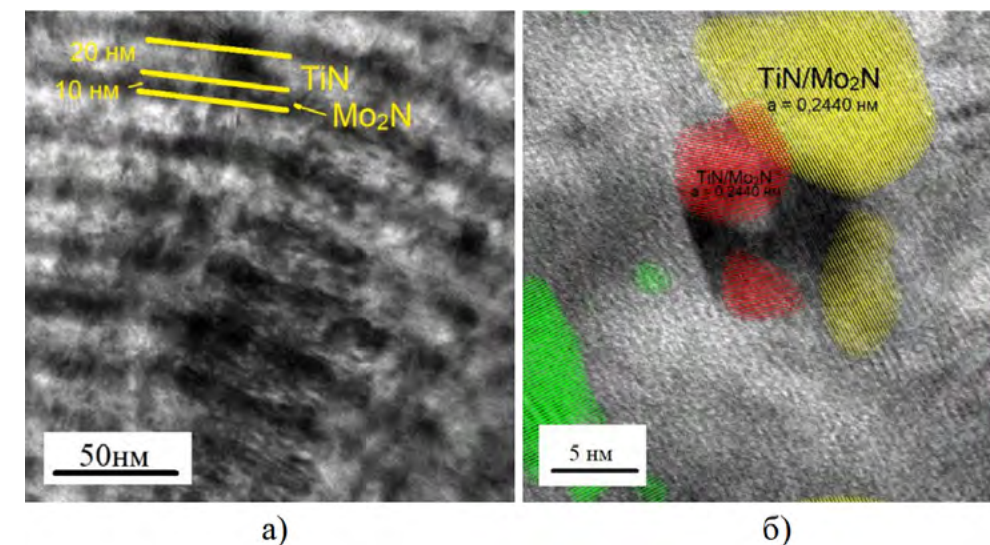


Рис. Структура покрытия Ti-Al-Mo-Ni-N: (а) поперечное сечение покрытия; (б) снимок ПЭМ высокого разрешения

# 10. ПОЛИМЕР-КВАЗИКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ ПОРОШКОВАЯ КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АНТИКОРРОЗИЙНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

## Назначение:

Композиционный материал, предназначен для получения антикоррозионных защитных покрытий, которые могут быть применены в трубной промышленности при производстве антикоррозионных защитных покрытий для стальных труб нефтепроводов, магистральных газопроводов, продуктопроводов, трубопроводов коммунального назначения и др. и в химическом и специальном машиностроении, автомобильной промышленности в качестве защитных антикоррозионных покрытий конструкций

## Новизна:

- Полимерматричный порошковый композиционный материал на основе полисульфона наполняется дисперсными частицами квазикристаллов систем Al-Cu-Fe или Al-Cu-Cr со степенью наполнения до 20 масс.%
- В качестве исходных материалов используются порошок полисульфона с температурой стеклования не менее 180 °С в качестве матричного материала и квазикристаллические порошки с содержанием икосоздрической фазы состава Al<sub>65</sub>Cu<sub>23</sub>Fe<sub>12</sub> или декагональной квазикристаллической фазы состава Al<sub>73</sub>Cu<sub>11</sub>Cr<sub>16</sub> в качестве наполнителя

## Преимущества:

Разработанные материалы обладают высокой прочностью, твердостью, коррозионной стойкостью, высокой химической стойкостью, низким коэффициентом трения и хорошей адгезией к металлической подложке:

- Коэффициент трения — не более 0.2
- Адгезия (балл по ГОСТ 15140-78) — не более 2
- Краевой угол смачивания — не менее 70

**Уровень разработки технологии:** TRL4

**Патент № 2630796 от 13.09.2017** «Полимер-квазикристаллическая порошковая композиция для получения антикоррозийных защитных покрытий»

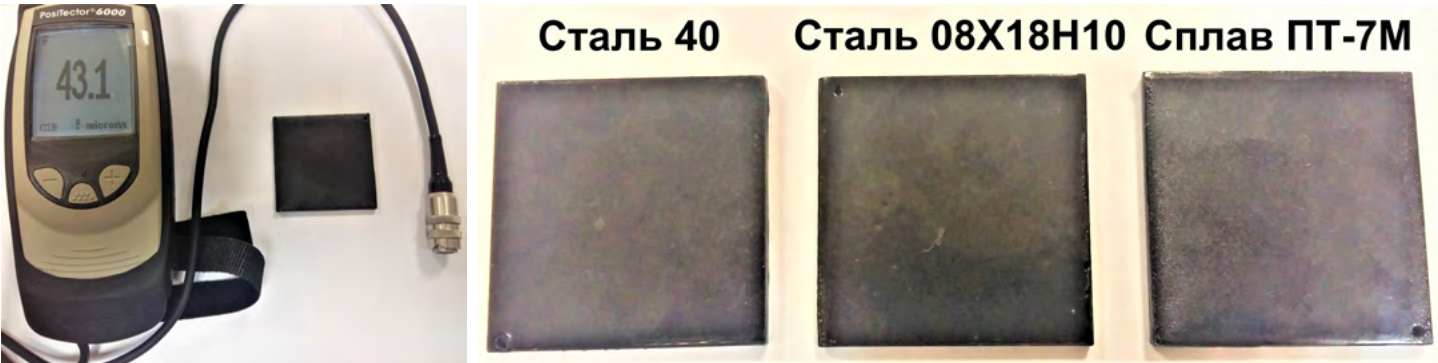


Рис. Полученные антикоррозийные защитные покрытия

# 11. ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ АЛМАЗНЫЕ ПЛЕНКИ

## Назначение:

Алмазные пленки для изготовления теплоотводов, детекторов ионизирующего излучения, инфракрасных окон, упрочняющих и износостойких покрытий на деталях и режущих инструментах

## Новизна:

Алмазное покрытие представляет собой сплошную однородную плотную поликристаллическую пленку с гладкой поверхностью, полученную в результате того, что наноалмазные порошки были эффективно дезагрегированы при воздействии на них высокоомощных ультразвуковых колебаний, и благодаря графеновому слою практически не были потертаны в реакторе в начальный период осаждения поликристаллического алмазного слоя

## Технические характеристики:

Способ получения поликристаллической алмазной пленки включает приготовление суспензии, содержащей наноалмазные порошки, диспергирование наноалмазных порошков в суспензии при ультразвуковом воздействии мощностью 500-1000Вт., помещение в суспензию подложки например, выполненную из кремния или материалов на его основе, для осаждения наноалмазных порошков при ультразвуковом воздействии мощностью 250-350 Вт и последующее осаждение слоя графена, содержащего 3-10 монослоев, наносимые методом химического газофазного осаждения (CVD), в процессе которого слой графена стравливается

## Преимущества:

Способ обеспечивает получение сплошной поликристаллической алмазной пленки с гладкой поверхностью путем «засева» подложки наноалмазными порошками с узким диапазоном размеров и высокой плотностью

**Уровень разработки технологии:** TRL4

**Патент № 2750234 от 24.07.2020 г.** «Способ получения поликристаллических алмазных пленок»

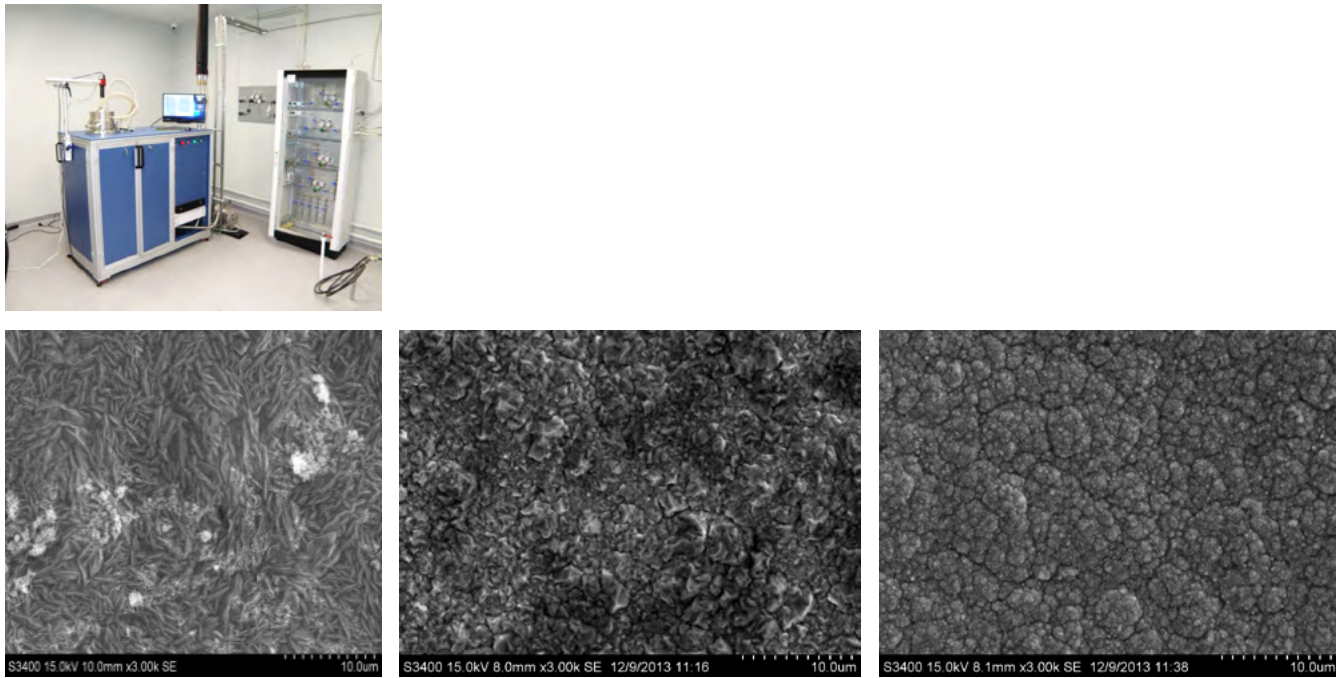


Рис. 1 СВЧ-плазмохимический реактор Ardis для выращивания поли-, монокристаллических алмазов (MP CVD)

Рис. 2 Исследование поликристаллических алмазных пленок методом СЭМ: Низкая скорость роста; оптимальная скорость роста; высокая скорость роста

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

## Назначение:

Материалы могут быть использованы при упрочнении инструментов и деталей машин, в том числе авиационно-космического назначения

## Новизна:

- Предложено модифицирование СВС-твердых сплавов путем введения в шихту добавки порошка ультрадисперсного алмаза
- Уменьшено (измельчено) 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 адгезии формируемых покрытий
- Возможность локальной обработки поверхности ответственных узлов и механизмов, в том числе крупногабаритных изделий
- 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

# КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОРОШКИ

## 13. 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 (упрочняющая фаза), а также 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 ГП.
- Температура плавления: 2300-4300 К
- Модуль Юнга: 210-390 ГПа
- Предел прочности на сжатие: 2,3-3,5 ГПа при 25 °С
- Трещиностойкость (K1C): 4-6 МПа√м
- Сопротивление абляции: линейная скорость абляции (ЛСА) = 2,2-3,8 мкм·с-1; массовая скорость абляции (МСА) = 16-35 мг·с-1 при плотности теплового потока 2,4 МВт/см2
- Скорость окисления: интегральный прирост массы ( $\Delta W/W$ ) = 16,5-36,0 мг/см2, (в 3-6 раз ниже монокарбидов)

## 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»

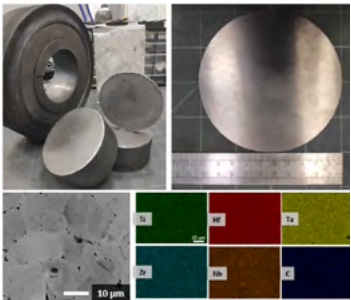


Рис. Типичный вид изготавливаемых компактных образцов и микроструктура ВЭК

## 14. КОМПОЗИТНЫЕ ПОРОШКИ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

### Назначение:

- 3D-печать изделий сложной формы. Формирование композитов непосредственно во время печати
- Металлургические и химические технологии, использующие высокотемпературные процессы. Применение изделий сложной формы, которую невозможно получить другими методами
- Создание оборудования, предназначенного для аддитивных технологий (селективное лазерное спекание и плавление)

### Новизна:

Новый класс порошков, представляющих собой композит, состоящий из твердых реагентов, способных вступать в экзотермическую безгазовую реакцию. Порошки могут быть использованы для печати как самостоятельно, так и в качестве добавки к матрице, за счет чего будет происходить взаимодействие между основой и добавкой (Al-Ti, Al-Ni и т.д.) с формированием армирующих частиц

### Преимущества:

- Более стабильное армирование, более чистая поверхность раздела между частицами и матрицей и более прочная межфазная связь, лучшее распределение мелких армирующих элементов внутри матрицы.
- Импортзамещение — возможность отказаться от более дорогих зарубежных коммерческих порошков, например, таких как Al-Ti, Al-Ni, Ti-Ni-Al.
- Экономический эффект от внедрения результатов проекта:
  - Снижение затрат на приобретение и доставку
  - Повышение доступности композиционных порошков
  - Появление новых спектров порошков, позволяющих создать новые направления производства

**Уровень разработки технологии:** TRL4

**Патент № 2750298 от 25.06.2021** «Способ получения реакционного композиционного порошка округлой формы для применения в аддитивных технологиях»

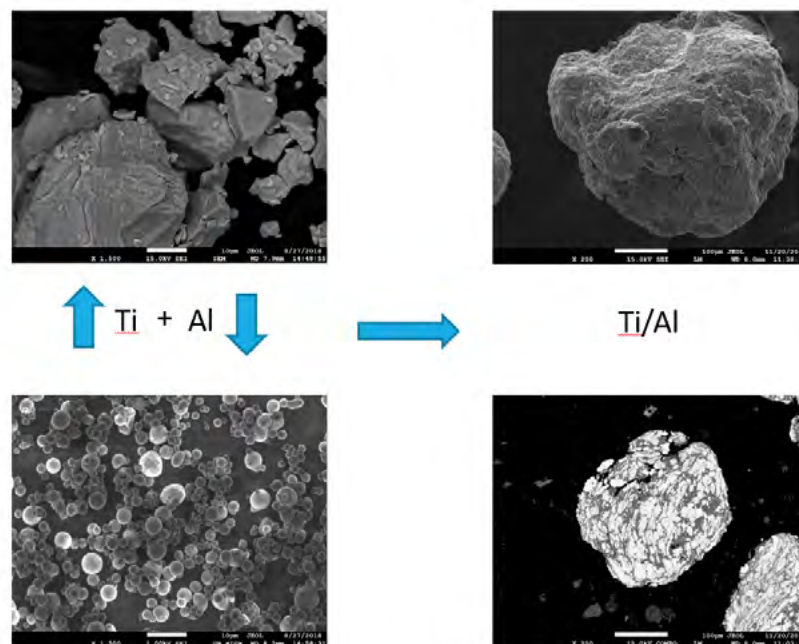


Рис. Микроструктура композиционных порошков Ti/Al из исходных Ti и Al

## 15. КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И КАРБЕНИЗИРОВАННЫХ 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 выше 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 импортзамещены 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 композиционный материал на основе шунгита и углеродных волокон в графитовой матрице

## 16. ГИБРИДНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

### Назначение:

Изобретение относится к области нанотехнологий, а именно к гибридным композиционным наноматериалам. Автомобилестроение

### Новизна:

- Гибридный композиционный материал содержит матрицу из полимерного нанокомпозита, содержащего 3–65 об.% упрочняющих частиц и 1–60 об.% наполнителя из гранул металломатричного нанокомпозита, состоящего из металлической матрицы и 10–65 об.% упрочняющих наночастиц. Размер гранул металломатричного композита составляет 0,5–500 мкм при отношении максимального размера гранулы к минимальному не более 3, а размер упрочняющих частиц в матрице из полимерного нанокомпозита составляет 0,1–50 размеров упрочняющих наночастиц в наполнителе
- Полимерная матрица выполнена из эпоксидной смолы или полиэтилентерефталата
- Металлическая матрица выполнена из меди, или алюминия, или никеля, или хрома, или железа, или вольфрама, или титана, или циркония, или их сплавов
- Упрочняющие частицы в матрице из полимерного нанокомпозита и в наполнителе выполнены из одного и того же материала
- Упрочняющие частицы в матрице из полимерного нанокомпозита и в наполнителе имеют размер не более 100 нм и выполнены из наноалмазов, или луковичнообразных углеродных наночастиц, или фуллеренов, или графитовых наночастиц, или графена, или сажи, или карбида титана, или карбида кремния, или карбида хрома, или карбида вольфрама, или карбида лития, или карбида циркония, или карбида бора, или оксида алюминия, или оксида титана, или оксида кремния, или нитрида титана, или нитрида алюминия, или нитрида циркония, или нитрида бора
- Полимерная матрица содержит не менее 40 об.% упрочняющих наночастиц из электропроводящего материала
- Содержит не менее 20 об.% гранул наполнителя
- Наполнитель содержит упрочняющие наночастицы в неагломерированном состоянии
- Гранулы наполнителя снабжены покрытием из углерода, или оксида кремния, или никеля
- Содержит 5–50 об.% дополнительного наполнителя из упрочняющих частиц оксида кремния размером от 5 мкм до 1 мм

### Преимущества:

Повышение прочности материала при сниженной плотности, а также обеспечение возможности электропроводности всего материала за счет возможности изготовления упрочняющих наночастиц из электропроводного материала

**Уровень разработки технологии:** TRL5

**Патент № 2765969 от 07.02.2022** «Гибридный композиционный материал»

**Патент № 2772480 от 20.05.2022** «Композиционный материал и способ его изготовления»

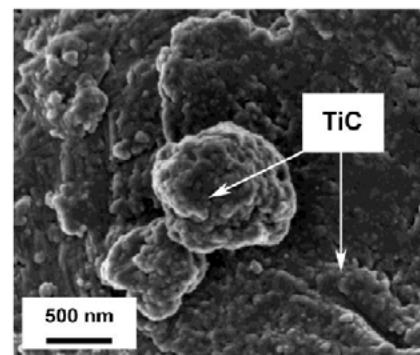
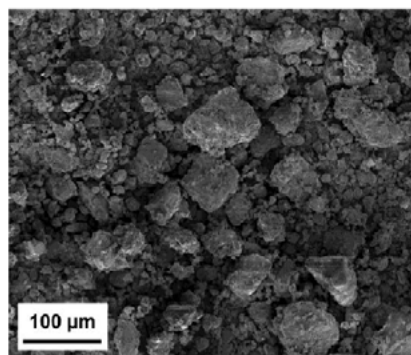


Рис. Гранулы композиционного материала с алюминиевой матрицей и упрочняющими наночастицами карбида титана

## 17. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛА С РАЗНОУРОВНЕВОЙ ПОРИСТОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ ГЕМАТИТА

### Назначение:

Может быть использовано для получения изделий с изменяющимся по объему размером пор, например, фильтров и катализаторов

### Новизна:

Обеспечивается получение материала однородного фазового состава с послойно распределенными порами размерами 30–50 нм и 350–390 нм. В качестве исходных материалов используются нанопорошки со средним размером частиц 11 нм, получаемые методом осаждения 10% водных растворов  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  и  $\text{KOH}$  при постоянном  $\text{pH}=11$  с последующей очисткой от анионов соли и отжиге при температуре 500 °С в течение 3 часов, и субмикропорошки, получаемые путем пиролиза аэрозоля 10% водного раствора  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ . Средний размер полученных полых субмикросфер составляет 970 нм

### Технические характеристики:

В графитовой матрице послойно размещают наноразмерный порошок  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и субмикронный порошок  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  при общей массе порошка от 1 до 6 г. Размещенные порошки формуют при нагрузке от 30 до 45 МПа и консолидируют методом искрового плазменного спекания в диапазоне температур от 700 до 900 °С при давлении от 10 до 20 МПа в течение от 3 до 5 минут с использованием установки Labox 650, Sinter Land. Перед спеканием поверхности графитовой матрицы, соприкасающиеся с порошком покрывались слоем гексагонального нитрида бора толщиной около 0,2 мм для предотвращения восстановления гематита

### Преимущества:

Получение материала с градиентной разноразмерной пористостью из  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , без образования примесных фаз за счет отсутствия углеродосодержащих порообразователей

**Уровень разработки технологии:** TRL 3

**Патент № 2765971 от 07.02.2022** «Способ получения материала с разноразмерной пористостью на основе порошков гематита»

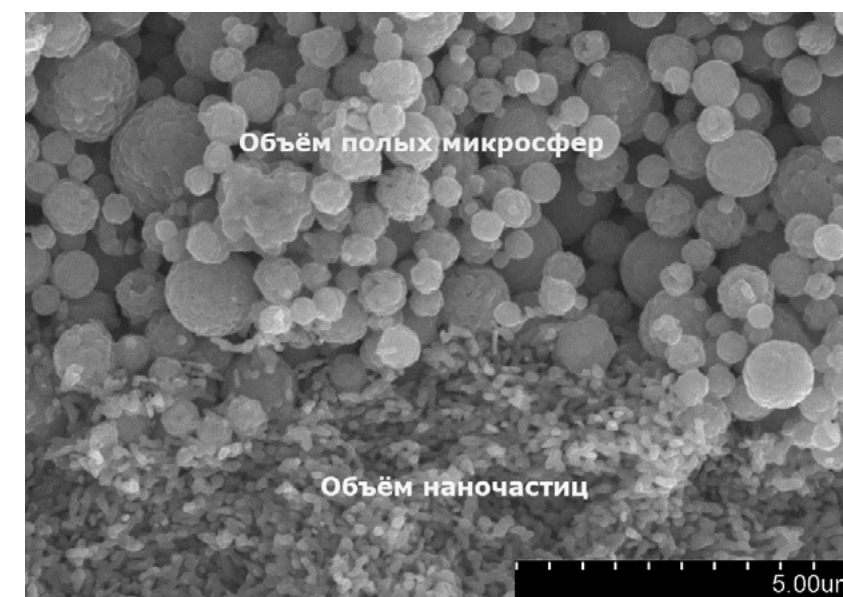


Рис. СЭМ-изображение переходной зоны материала

## 18. ВЫСОКОПОРИСТЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МИКРОСФЕР МЕТАЛЛОВ

### Назначение:

Теплообменники в энергетике, машиностроении и химической промышленности, фильтры, носители катализаторов, шумо- и звукопоглотители, материалы для поглощения и экранирования электромагнитного излучения, поглотители энергии, вызванной пластической деформацией материала, защита от вибраций

### Новизна:

- Возможность получения пористости материалов выше 90%
- Сохранение сферичности исходного порошка в составе конечного материала после применения температурного воздействия
- Сохранение исходного фазового состава конечного материала после применения температурного воздействия на исходный порошок
- Достижение 100% межчастичного взаимодействия между исходными микросферами
- Достижение высокого модуля Юнга для максимально высокопористых материалов от 0,4 ГПа и выше
- Достижение хороших каталитических свойств в реакции разложения этанола, где полная 100% конверсия и 60% селективность по производству водорода наблюдается при температуре 400 °С

### Технические характеристики:

Порошок наноструктурированных микросфер металла засыпают в матрицу пресс-формы, которую размещают в рабочей камере установки искрового плазменного спекания и нагревают со скоростью 10–600 °С/мин до 400–800 °С путем пропускания через матрицу и порошок высокочастотного тока от 3000 до 60000 ампер при обеспечении давления на боковые стенки матрицы от 10 МПа до 100 МПа с последующей временной выдержкой от 1 сек до 30 мин и охлаждением в свободном режиме со скоростью 10–600 °С/мин

### Преимущества:

- Возможность изготовления из конечного компактного высокопористого металлического материала деталей и изделий малых размеров
- Достижение уникальных теплофизических данных, где температуропроводность в 5 раз ниже, а теплопроводность в 70 раз ниже температуропроводности и теплопроводности беспористого металлического материала
- Достижение уникальных электромагнитных экранирующих свойств с повышенными магнитными потерями в широком диапазоне от 0,5 до 20 ГГц и максимумом магнитных потерь на частоте около 4 ГГц

### Уровень разработки технологии: TRL3

**Патент № 2765970 от 07.02.2022** «Способ получения высокопористых металлических материалов на основе полых наноструктурированных микросфер металлов»

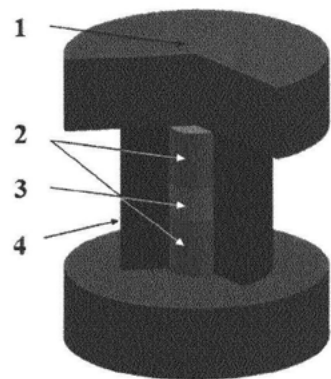


Рис. Схематическое выполнение матрицы: плунжер 1, нижний и верхний графитовые пуансоны 2, микросферы 3, матрица 4

## 19. НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ГЕКСАГОНАЛЬНЫЙ НИТРИД БОРА

### Назначение:

Применяется в качестве добавки в сплавы на основе алюминия и никеля для повышения их термомеханических свойств, в полимеры для улучшения трибологических свойств, в жидкости (масла) для улучшения реологических свойств

### Новизна:

Материал состоит из наночастиц с узким распределением по размерам примерно 10–12 нм.

### Преимущества:

Материал превосходит имеющиеся в продаже нанопорошки гексагонального нитрида бора по минимальному размеру наночастиц (~10–12 нм) и по узкому распределению частиц по размеру

### Уровень разработки технологии: TRL4

**Ноу-хау: зарегистрировано в Депозитарии ноу-хау НИТУ «МИСиС», № 13-457-2019 ОИС от «09» декабря 2019 года**

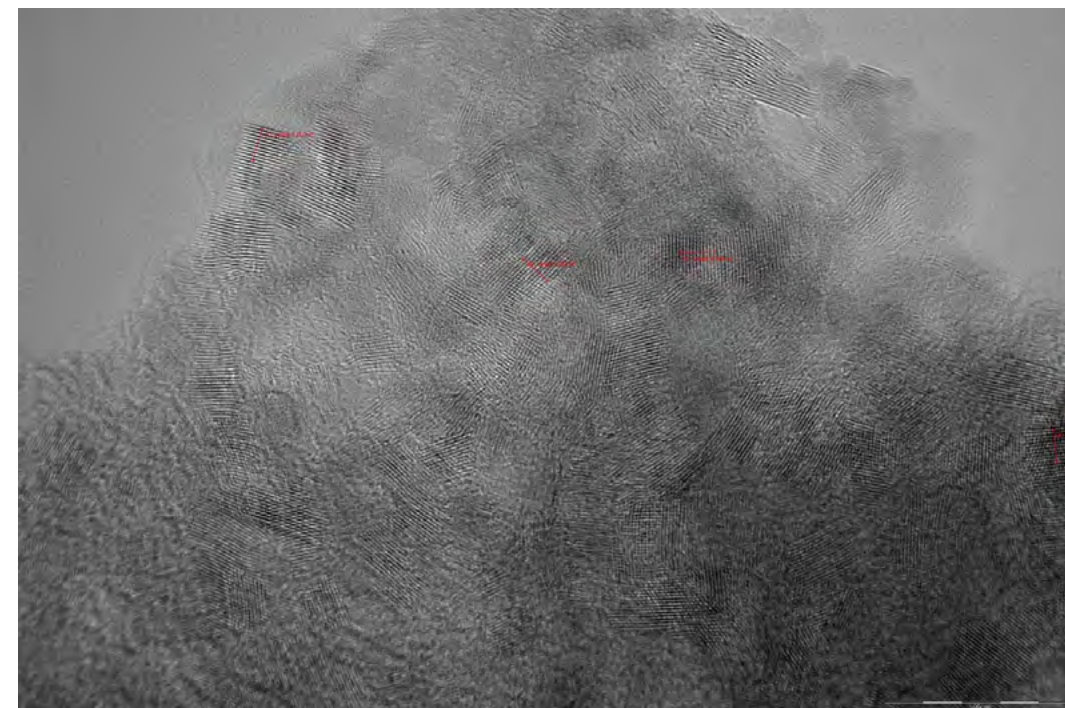


Рис. Изображение нанокристаллического гексагонального нитрида бора, полученное на просвечивающем электронном микроскопе.

## 20. АЛЮМИНИЕВЫЙ КОМПОЗИТ С ДОБАВЛЕНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН

### Назначение:

Для энергетических, биомедицинских и иных приложений. Имеет большое практическое значение не только для улучшения свойств конкретного алюминиевого сплава, но и для многих деталей различного назначения

### Новизна:

- За основу взяли литые и напечатанные на 3D-принтере алюминиевые образцы, свойства поверхности которых были увеличены нанесением композиционного покрытия методом холодного газодинамического напыления (cold-spray method)
- Совмещено два способа улучшения эксплуатационных свойств сплава: создание нового композитного материала с более сложным составом и обработка поверхности готовых изделий с нанесением дополнительного покрытия. Синергетический эффект нескольких факторов при взаимодействии микроразмерного оксида алюминия и наноразмерных углеродных волокон
- В основу композиционного покрытия  $Al - Al_2O_3 - UHB$  легла порошковая смесь из промышленного сырья для получения алюминия — глинозема, или оксида алюминия — с добавлением 30 процентов частиц чистого металла. В процессе синтеза частицы алюминия измельчаются при столкновении с более твердым оксидом, заполняя пустоты в его структуре. Такая композиция твердых и пластичных частиц обеспечивает прочное закрепление (bonding) покрытия на поверхности алюминиевой детали

### Преимущества:

- Наноразмерные волокна углерода проникают в пространство между частицами металлического порошка, увеличивая плотность на микроуровне, резко уменьшая количество трещин и пустот и увеличивают твердость и прочность нанесенного покрытия
- Формирование плотной, бездефектной структуры покрытия за счет «смазывания» при соударении частиц при высоких фрикционных свойствах углерода
- Добавление углерода в покрытие улучшает фрикционные свойства и износостойкость за счет «самосмазывания» (in-situ lubricating, self-lubrication)
- Увеличена твердость покрытия на 20% благодаря добавлению 1.5% углеродных нановолокон

Уровень разработки технологии: TRL2

Патент № 2771718 от 15.12.2021 «Композиционный углеродсодержащий алюминиевый материал для аддитивных технологий»



Рис. Алюминиевый композит с добавлением углеродных нановолокон

## 21. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АНИЗОТРОПНОГО ГЕКСАФЕРРИТА БАРИЯ

### Назначение:

Применение для долговременного хранения данных, в таких приложениях, как носители записи, в полосках для магнитных карт, динамиках, магнитных лентах. Изобретение относится к технологии изготовления поликристаллических магнитотвердых анизотропных ферритов и может использоваться при изготовлении гексаферритов бария с высокой степенью магнитной текстуры

### Новизна:

- Шликер гексаферрита бария на основе парафина и воска при температуре более 70 °C обладает низкой вязкостью, что облегчает ориентацию частиц в магнитном поле.
- После охлаждения заготовок ниже 45 °C, связка затвердевает, фиксируя ориентацию частиц после размагничивания, что обеспечивает сохранение высокой текстуры

### Технические характеристики:

Изготовление анизотропных гексаферритов бария включает формование заготовок в магнитном поле и последующее спекание полученных заготовок, причем формование заготовок осуществляется методом горячего шликерного литья под давлением 0,3–0,5 МПа при 70–80 °C в магнитном поле 450–550 кА/м с последующим размагничиванием в противоположном магнитном поле 240–260 кА/м после охлаждения заготовок ниже 45 °C и использованием связки на основе парафина и воска, при следующем соотношении компонентов, масс. %: парафин — 8–10; воск — 0,5–1,0; порошок гексаферрита бария — остальное

### Преимущества:

Увеличение энергии магнитного поля постоянного магнита из гексаферрита бария.

Уровень разработки технологии: TRL2

Патент № 2791957 от 14.03.2023 «Способ изготовления анизотропного гексаферрита бария»



Рис. Образцы анизотропного гексаферрита  $BaFe_{12}O_{19}$

## 22. 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

## НОВЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 23. НОВЫЙ ТЕРМОСТОЙКИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЛЭП

### 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<sub>2</sub>) при 300 °С и почти полное разложение (Al) при 400 °С
- Распределение Zr-содержащих наночастиц достаточно однородное, их средний размер не превышает 10 нм
- Экспериментальный проволоочный 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 °С против 230 °С) 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 ЛЭП

## 24. ТЕРМОСТОЙКИЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ

### Назначение:

Изделия электротехнического назначения при производстве кабельно-проводниковой продукции для электропроводки зданий и сооружений

### Новизна:

Предлагаемое изобретение представляет новый термостойкий электропроводный алюминиевый сплав, который сочетает высокую прочность и электропроводность при очень высокой термической стабильности вплоть до 300 °С

### Технические характеристики:

- В расплав алюминия марки А99 при температуре 750–800 °С вводятся последовательно легирующие элементы в виде лигатур Al-Sc, Al-Y, Al-Er, Al-Yb. Затем расплав перемешивают и заливают при температуре 750–800 °С. Отжиг слитков проводят при температурах 300–370 °С в течение 1–8 часов. Далее следует обработка давлением и последующий отжиг. Обработка давлением включает горячую прокатку при температурах 300–370 °С (степень обжатия 50%) и последующую холодную прокатку (общая степень обжатия до 95%). Отжиг после прокатки проводят при температуре 300 °С в течение 1–100 часов
- Предел прочности не менее 140 МПа при электропроводности не менее 60%IACS
- Предел прочности не менее 220 МПа при электропроводности не менее 54%IACS
- Превосходная термическая стабильность — вплоть до 300 °С

### Преимущества:

Повышенный срок эксплуатации изделий электротехнического назначения.

**Уровень разработки технологии:** TRL4

**Патент № 2743499 от 19.02.2021 г.** «Термостойкий электропроводный алюминиевый сплав»

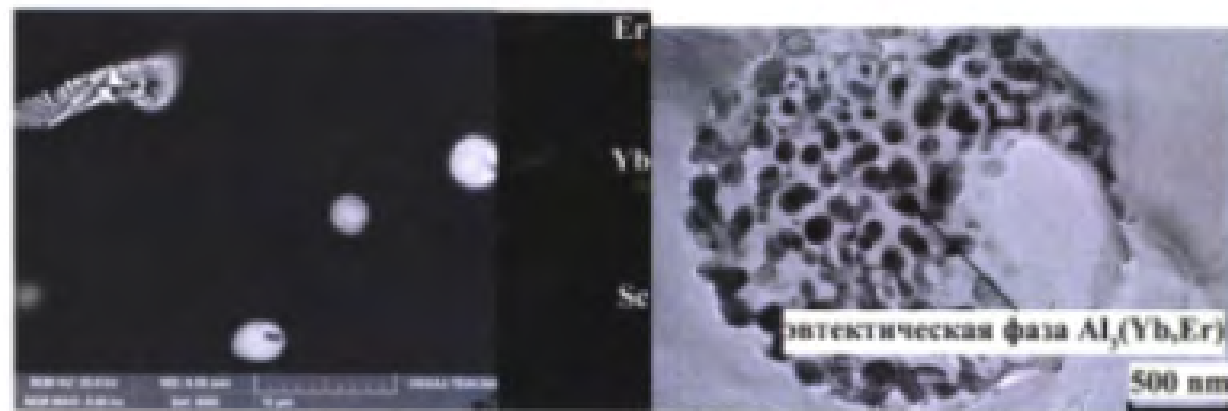


Рис. Микроструктура слитка сплава AlErYbSc и распределение элементов между фазами (растровая и просвечивающая электронная микроскопия)

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

### Назначение:

Может быть использовано при получении изделий, работающих под действием высоких нагрузок при температурах до 300 °С: 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 (ов), предела текучести (о0,2) 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 (ов) — не менее 180 МПа, предел текучести (о0,2) — не менее 140 МПа, относительное удлинение (5) — 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:** TRL3

**Патент № 2741874 от 24.07.2020 г.** «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

## 26. 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 L12-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 30.10.2020 г.** «Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Y и Al-Cu-Er

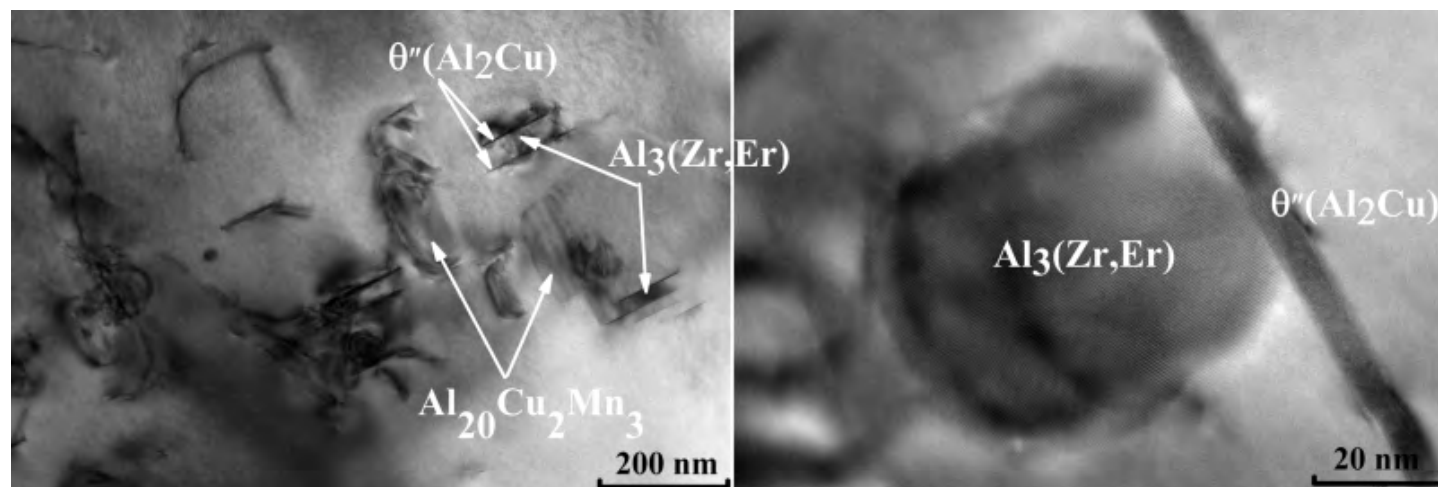


Рис. Микроструктура в просвечивающем электронном микроскопе, демонстрирует наноразмерные L12-дисперсоиды и продукты старения

## 27. 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 L12-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 10.06.2022 г.** «Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd (варианты)»

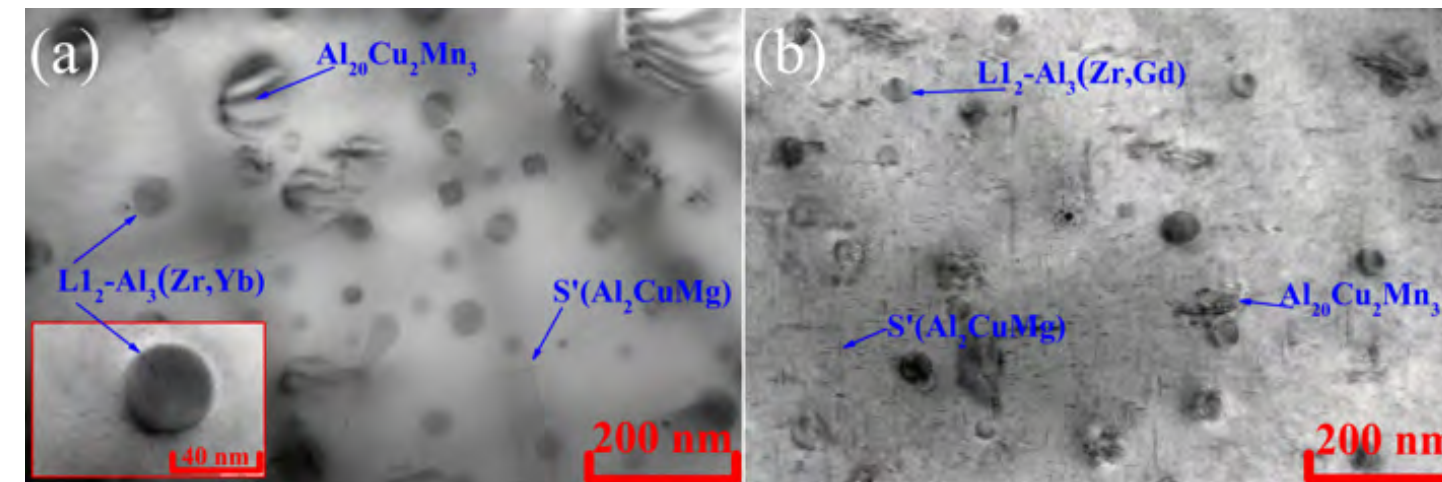


Рис. Микроструктура в просвечивающем электронном микроскопе, демонстрирует наноразмерные L12-дисперсоиды и продукты старения

## 28. КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ АЛЮМИНИЕВО-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 (бв) отливок более 250 МПа
- бв 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 педаль.

## 29. ДЕФОРМИРУЕМЫЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ 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-дисперсоидами 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 22.09.2020 г.** «Деформируемый алюминиевый сплав на основе системы Al-Mg-Sc-Zr с добавками Er и Yb (варианты)»

**Ноу-хау № 15-013-2019 от 09.12.2019** «Состав и способ получения деформируемого алюминиевого сплава с иттрием и скандием с повышенной прочностью и электропроводностью»

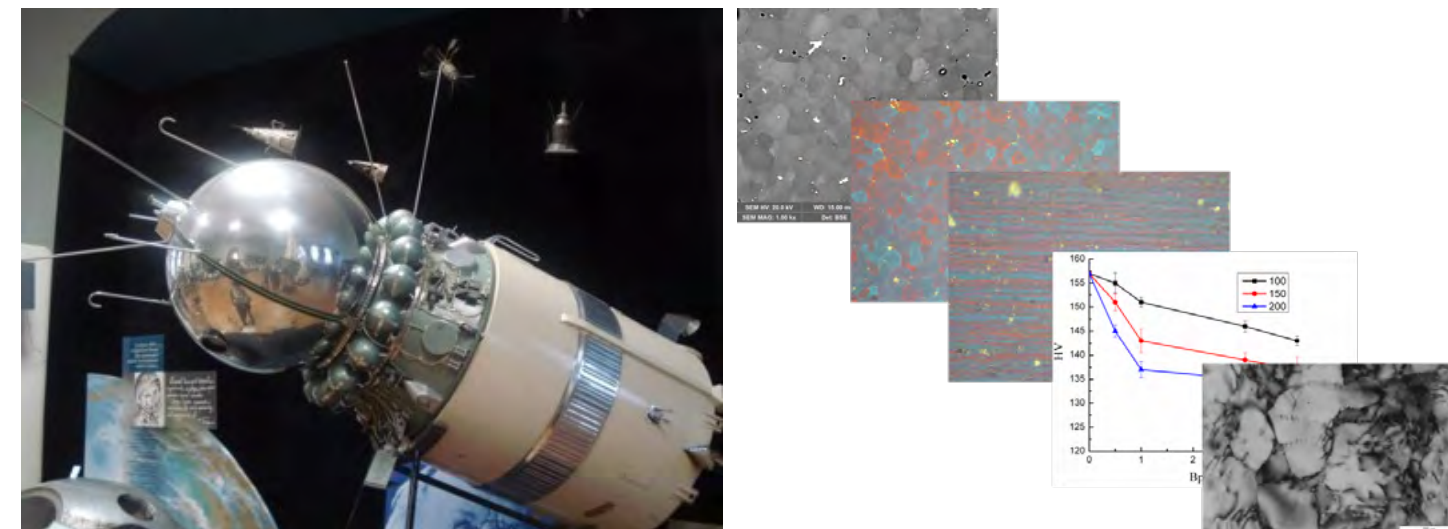


Рис. Состав определяет структуру и свойства. Al-Mg-Sc-Zr с добавками Er и Yb

### 30. 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 сложнолегированного 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 сложнолегированного 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 30.10.2020 г. «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»

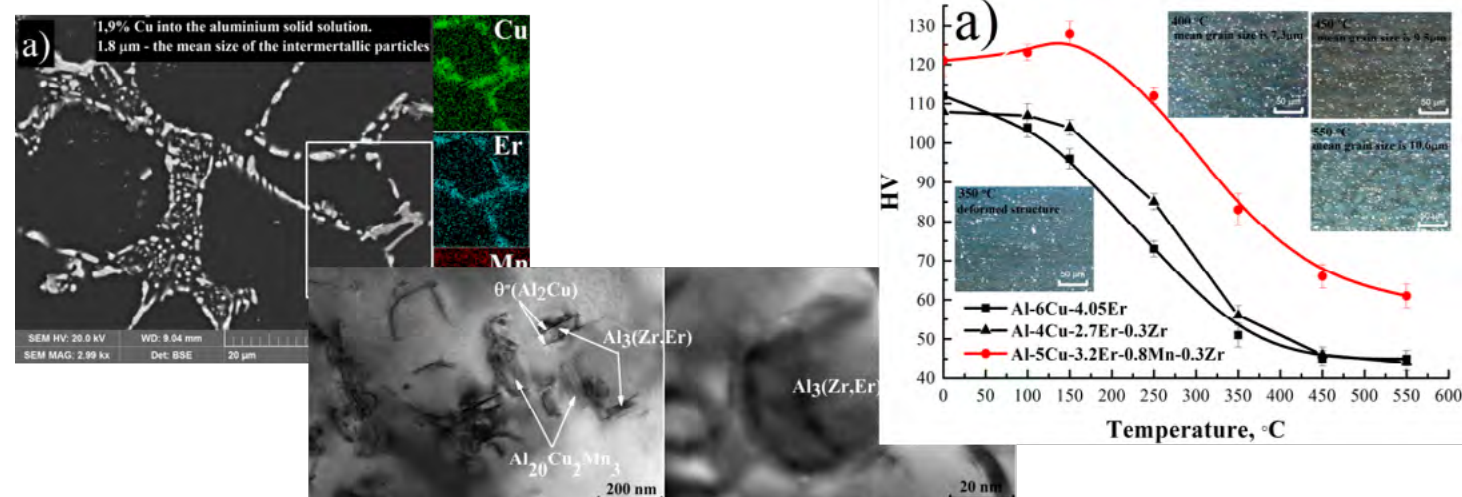


Рис. Состав определяет структуру и свойства. Алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Y и Al-Cu-Er

### 31. 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 сложнолегированного 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 сложнолегированного 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 10.06.2022 г. «Жаропрочные литейные и деформируемые алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd»

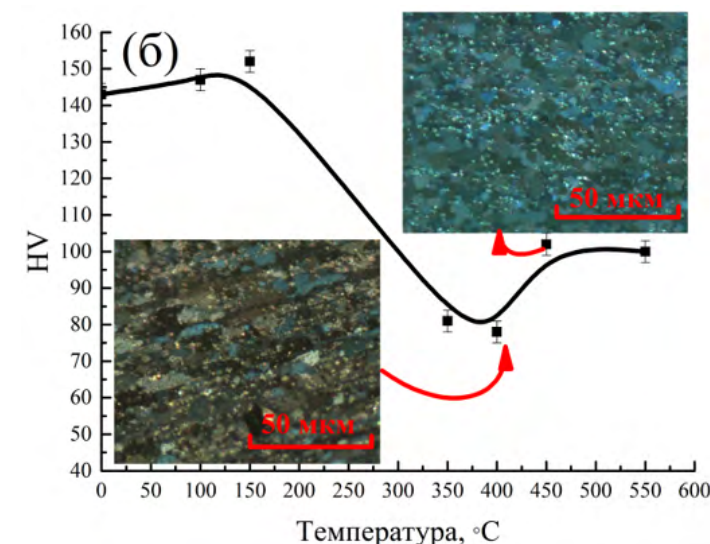


Рис. Состав определяет структуру и свойства. Алюминиевые сплавы на основе систем Al-Cu-Yb и Al-Cu-Gd

### 32. 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. Проволока, полученная специальным способом, 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»

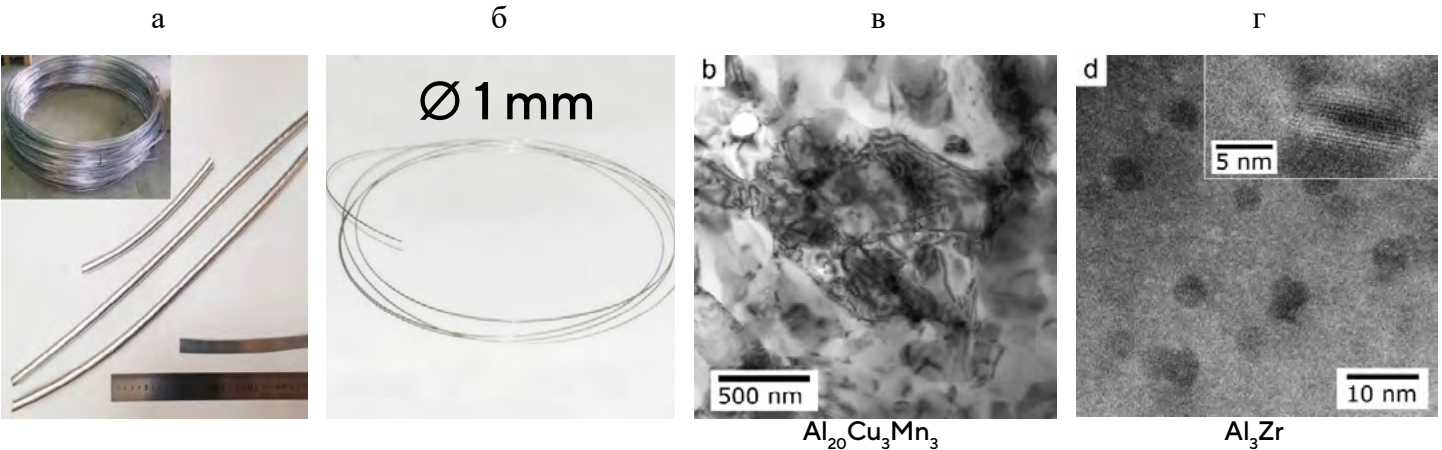


Рис. Исходная заготовка сплава системы Al-Cu-Mn-Zr (а), полученная из нее проволока (б) и ее структура (в, г)

### 33. ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИЙ ДЕФОРМИРУЕМЫЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ ДЛЯ ПОРШНЕЙ

**Назначение:**

Сплав может быть использован для изготовления отливок и деформированных полуфабрикатов, предназначенных для получения деталей ответственного назначения, работающих в условиях износа и повышенных температур до 300–350 °С. Среди них: детали автомобильных двигателей (головки цилиндров, корпуса водяных насосов, впускные трубы и др.), детали судостроения, водозаборной арматуры, радиаторов отопления и др.

**Новизна:**

- Благодаря оригинальному составу, сплав имеет дисперсную структуру «естественного композита» с высокой долей интерметаллидных фаз, которые обеспечивают повышенную твердость, износостойкость и пониженный ТКЛР. Литейные свойства сплава не уступают литейным свойствам силуминов. Сплав имеет высокую деформационную пластичность. Образцы из него возможно подвергать горячей прокатке с обжатиями более 80%. Сплав не требует операции закалки
- Особенностью структуры полуфабрикатов из сплава является наличие компактных первичных кристаллов соединения  $Al_{10}CaMn_2$  размером не более 25 мкм, равномерно распределенных на фоне высокодисперсных многофазных эвтектик
- Сплав может быть получен в виде листов, обладающих в исходном состоянии (т.е. без термической обработки) следующими механическими свойствами на растяжение: временное сопротивление ( $\sigma_B$ ) — не менее 250 МПа, относительное удлинение ( $\delta$ ) — не менее 6%, ТКЛР (20–100 °С) не выше 20,50 x 10<sup>-6</sup> 1/°С. Сплав может быть выполнен в виде прутков, обладающих в исходном состоянии (т.е. без термической обработки) следующими механическими свойствами на растяжение: временное сопротивление ( $\sigma_B$ ) — не менее 230 МПа, относительное удлинение ( $\delta$ ) — не менее 4%, ТКЛР (20–100 °С) не выше 20,50 x 10<sup>-6</sup> 1/°С

**Преимущества:**

Сплав Al-Ca-Mn-Ni в виде отливок и деформированных полуфабрикатов превосходит применяемые в промышленности поршневые силумины по сочетанию пластичности, теплостойкости и износостойкости

**Внедрение:**

Методом центробежного литья в ИМЕТ РАН из сплава получена качественная отливка в виде кольца диаметром 300 мм, высотой 100 мм и толщиной 40 мм

**Уровень разработки технологии:** TRL5

**Патент № 2795622 от 05.05.2023** «Заэвтектический деформируемый алюминиевый сплав».

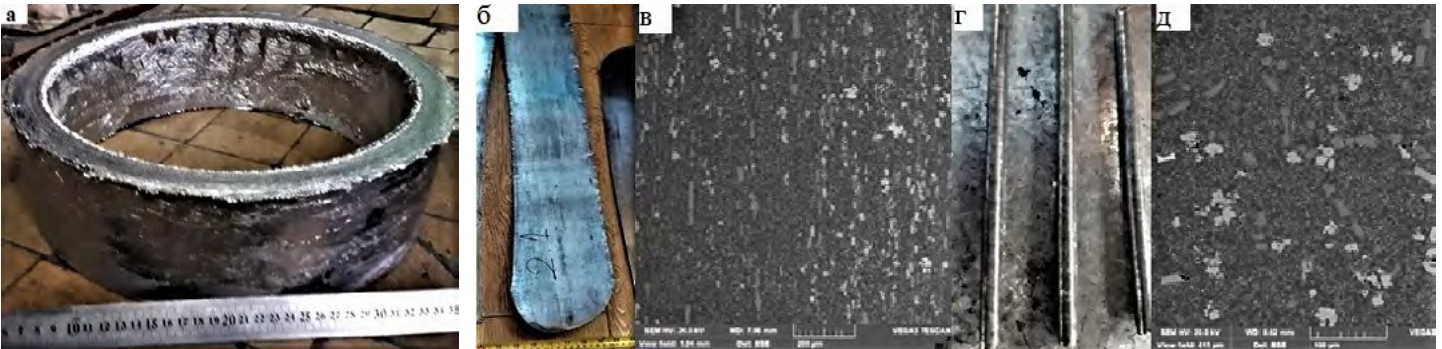


Рис. Литое кольцо из сплава системы Al-Ca-Mn-Ni (а), листы (б) структура листов (в), прутки (г), структура прутков (д)

### 34. 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:** TRL 4

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



а



б

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

### 35. 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 °С и кратковременно при температурах до 300 °С

#### 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, α-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 (σв около 270 МПа)
- Экономия в весе литых деталей
- Увеличение коррозионной стойкости в условиях внешней среды
- Температура эксплуатации до 250 °С
- 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 °С и 120 °С

### 36. 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 Т6 (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»

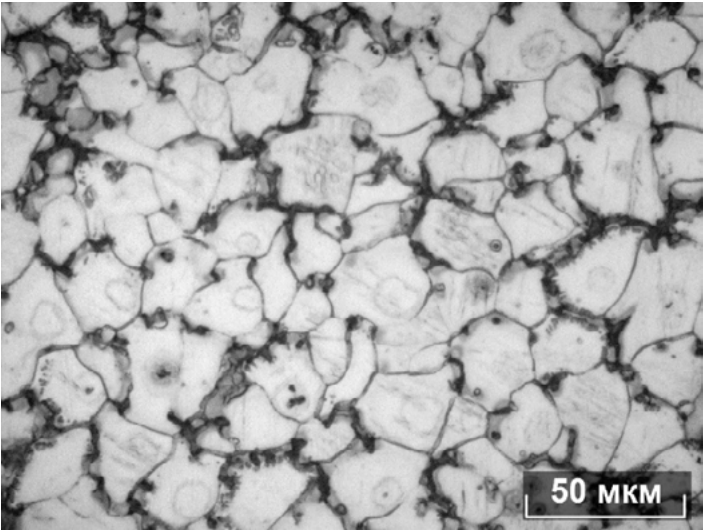


Рис. 1 Микроструктура сплава в литом состоянии

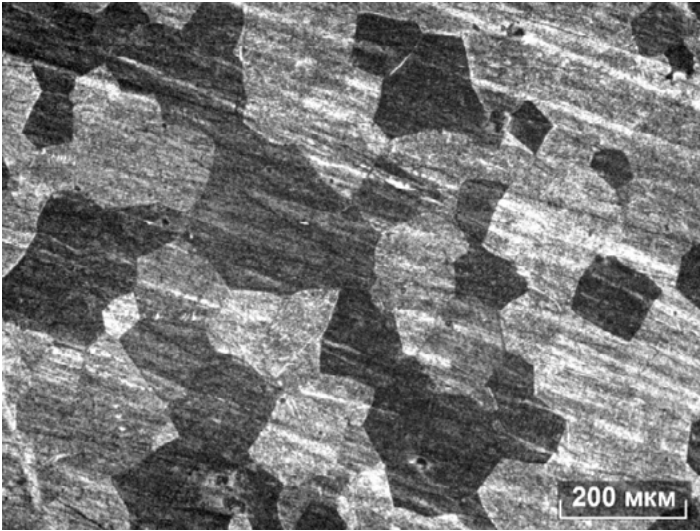


Рис. 2 Микроструктура сплава после термической обработки

### 37. 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. Способ заделки дефектов в литых деталях из магниевых сплавов включает нанесение жидкого легкоплавкого металлического сплава при комнатной температуре на поверхность заделываемой литой детали, последующее его распределение по поверхности литой детали инструментом, повреждающим поверхностную оксидную плену литой детали, проведение термической обработки при температуре 350–500 °С и удаление с поверхности литой детали богатого галлием слоя путем ее зачистки абразивным материалом. В момент термообработки происходит смачивание материала отливки легкоплавким сплавом, что обеспечивает высокую силу сцепления между материалом отливки и легкоплавким сплавом. 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»

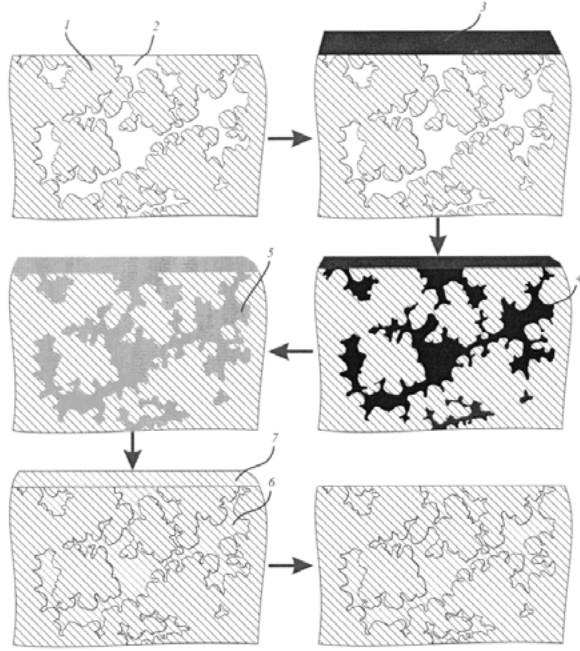


Рис. Схема процесса заделки дефектов, где отливка 1, дефекты (поры) в отливке 2, легкоплавкий сплав на поверхности отливки 3, легкоплавкий сплав в порах 4, легкоплавкий сплав в порах с растворенным магниевым сплавом 5, магниевый сплав в порах 6, богатый галлием поверхностный слой 7

### 38. 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 магниевого сплава 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:** TRL 9

**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»

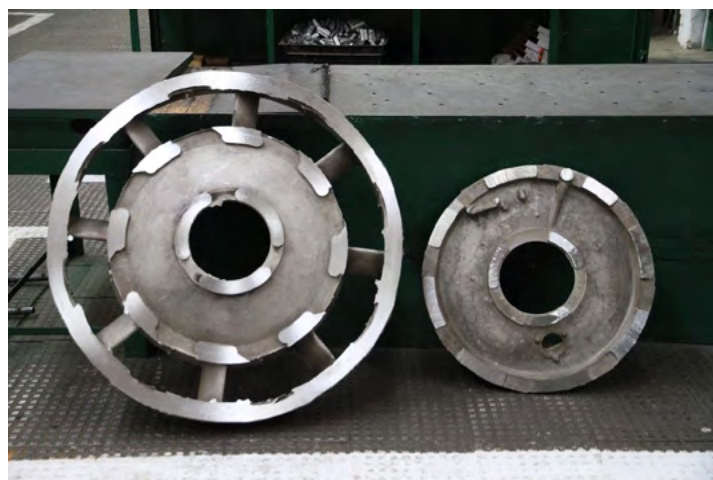


Рис. Заливка литейной формы и полученные отливки Корпус и крышка промежуточной опоры из сплава МЛ19

### 39. 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

## 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 технотропера 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)

