

**Резюме проекта, выполняемого  
в рамках ФЦП  
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-  
технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»  
по этапу №3**

Номер Соглашения Электронного бюджета: 075-15-2019-1254, Внутренний номер соглашения 14.574.21.0179

Тема: «Разработка высокоэффективных антифрикционных алюминиевых сплавов, технологии их изготовления и монометаллических подшипников скольжения из них, работающих в условиях жидкостного и граничного трения»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИН)

Критическая технология: Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов

Период выполнения: 26.09.2017 - 30.06.2020

Плановое финансирование проекта: 120.00 млн. руб.

Бюджетные средства: 60.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства: 60.00 млн. руб.

Получатель/Исполнитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "СПЕЦДИЗЕЛЬСЕРВИС".

Ключевые слова: трение, триботехнические материалы, алюминиевые антифрикционные сплавы, поверхность трения, вторичные структуры, изнашивание, задиростойкость, прирабатываемость, приспособляемость, термодинамические потоки, топо-физико-химические процессы, трибологические испытания, подшипники скольжения, технология изготовления.

## **1. Цель проекта**

1.1 На основе результатов исследования поверхностных структур, образующихся при трении, разработать антифрикционные сплавы для монометаллических подшипников скольжения на основе алюминия.

1.2 Разработать технологию изготовления антифрикционных алюминиевых сплавов.

1.3 Разработать технологию изготовления монометаллических подшипников из новых сплавов на основе алюминия.

## **2. Основные результаты проекта**

Разработан антифрикционный многокомпонентный алюминиевый материал для монометаллических подшипников скольжения не уступающий по свойствам бронзовым материалам.

Впервые разработка антифрикционных материалов проводилась не на основе улучшения механических, проводящих и триботехнических свойств материала, а на основе результатов исследований структур, образовавшихся на поверхностях трения (далее – вторичные структуры). Вторичные структуры на поверхностях трения интенсивно изучались и

изучаются большим количеством исследователей. Однако, эти многочисленные исследования ограничивались констатацией факта о составе и свойствах вторичных структур.

В данной работе исходили из того, что образование вторичных структур является естественной реакцией трибосистемы на трение и изменение параметров трения, т.е. на внешнее воздействие. Эта реакция направлена на уменьшение результатов этого воздействия, т.е. на снижение интенсивности изнашивания трущихся тел. Следовательно, нужно «помочь» трибосистеме образовать необходимые оптимальные вторичные структуры. В данной работе это достигалось соответствующим легированием антифрикционных алюминиевых сплавов.

Теоретическим обоснованием такого подхода к разработке новых антифрикционных алюминиевых сплавов послужила неравновесная термодинамика и теория самоорганизации применительно к процессам трения.

Теоретически было показано, что интенсивность изнашивания снижается со снижением производства энтропии. Следовательно, заметное снижение интенсивности изнашивания ожидается при прохождении самоорганизации и образовании диссипативных структур. Вероятность прохождения самоорганизации повышается при возрастании сложности трибосистемы. В данной работе это достигалось увеличением сложности легирования, т.е. увеличением количества легирующих элементов. Это позволило снизить количество олова в 1,5 – 2 раза в алюминиевых сплавах по сравнению с его количеством в антифрикционной бронзе. Уменьшение количества олова позволило повысить прочностные свойства алюминиевых антифрикционных сплавов до уровня прочностных свойств лучшей антифрикционной бронзы БрО4Ц4С17. С точки зрения триботехнических свойств исследование вторичных структур позволило, например, выявить роль содержания легких и тяжелых элементов на интенсивность изнашивания и нагрузку задира.

В результате примененного подхода удалось разработать алюминиевые антифрикционные сплавы с относительно небольшим содержанием олова, не уступающие лучшей антифрикционной бронзе по механическим свойствам, но значительно, превосходящие ее по триботехническим характеристикам: интенсивности изнашивания сплава и стального контртела, нагрузке задира.

Все полученные характеристики новых антифрикционных алюминиевых сплавов соответствуют требованиям к выполняемому проекту.

Подтверждением новизны результатов является два полученных патента на изобретения по поданным в 2018 году заявкам.

Разработка аналогичных сплавов в мире идет либо по пути повышения содержания олова в антифрикционном сплаве, либо упрочнением сплава или его поверхности. Повышение содержания олова приводит одновременно к снижению интенсивности изнашивания стального контртела и механических свойств сплава. Упрочнение сплава или его поверхности приводит одновременно к повышению интенсивности изнашивания стального контртела и механических свойств сплава. Другими словами в мире не применяется комплексный подход, учитывающий одновременно механические свойства сплава, трибологические характеристики обоих трущихся тел.

В настоящем проекте применен именно такой комплексный подход. В связи с этим уровень работы выше мирового уровня.

**3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

1) изобретение патент №2702530 (заявка №2018141927 от 28.11.2018 г.) "Антифрикционный алюминиевый литейный сплав для монометаллических подшипников скольжения", РФ.

2) изобретение патент № 2702531 (заявка №2018141938 от 28.11.2018 г.) "Антифрикционный алюминиевый литейный сплав для монометаллических подшипников скольжения", РФ.

3) изобретение заявка №2019129342 от 18.09.2019 г. "Спеченная лигатура из порошковых материалов для легирования алюминиевых сплавов", РФ.

4) изобретение заявка №2019129344 от 18.09.2019 г. "Спеченная лигатура из порошковых материалов для легирования алюминиевых сплавов", РФ.

5) изобретение заявка №2019129345 от 18.09.2019 г. "Спеченная лигатура из порошковых материалов для легирования алюминиевых сплавов", РФ.

#### **4. Назначение и область применения результатов проекта**

Комплексный подход к разработке антифрикционных материалов, основанный на исследовании вторичных структур и на применении неравновесной термодинамики и теории самоорганизации, может быть использован для разработки трущихся материалов любых трибосистем, начиная от антифрикционных сплавов, заканчивая покрытиями на режущем инструменте. Это связано с тем, что подход основан не на улучшении свойств материалов, а на интенсификации процессов, протекающих при трении и приводящих к снижению интенсивности изнашивания.

Разработанные антифрикционные алюминиевые сплавы для замены бронзы в подшипниках скольжения, подшипники скольжения из этих сплавов и технология их изготовления могут применяться в большинстве узлов трения, в которых используются бронзовые монометаллические подшипники. Например, подшипники верхней головки шатуна двигателя внутреннего сгорания; подшипники турбокомпрессоров; моторно-осевые подшипники; подшипники для насосов, в том числе для нефтеперегонных насосов; подшипники для авиации и др. Разработанные подшипники испытываются в турбокомпрессорах двигателей тепловозов.

Предложенный комплексный подход разработки новых антифрикционных материалов, примененный в данном проекте, позволяет принципиально изменить подход к разработке триботехнических материалов. В научных центрах некоторых стран начинают проявлять интерес к примененному подходу, поступают предложения о сотрудничестве в этой области.

#### **5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

Алюминиевые сплавы, помимо технических характеристик, имеют два общих преимущества перед медными сплавами. Алюминиевые сплавы в 3,2 раза легче медных сплавов. Алюминиевые сплавы примерно в 3 раза дешевле медных сплавов. Поэтому себестоимость алюминиевых подшипников будет примерно в 4 -5 раз меньше себестоимости бронзовых подшипников.

Кроме того, разработанные алюминиевые подшипники скольжения обладают повышенной износостойкостью и меньше изнашивают стальное контртело по сравнению с бронзовыми подшипниками скольжения.

Разработанные алюминиевые антифрикционные сплавы обладают нагрузкой задира более, чем в 2 раза превышающей нагрузку задира бронзы. Это означает, что вероятность аварийной ситуации (задира), например при масляном голодании или неточной посадке, у подшипников из алюминиевых сплавов существенно меньше, чем у бронзовых подшипников.

Важным преимуществом алюминиевых антифрикционных сплавов перед бронзами является то, что после задира бронзы и стального вала, стальной вал необратимо повреждается (как правило, он ломается) и подлежит замене. После задира алюминиевого сплава и стального вала, стальной вал повреждается обратимо и легко восстанавливается. Эти факторы значительно продлевают жизненный цикл пары трения вал-подшипник и удешевляют его.

В заключение необходимо отметить, что разработанные алюминиевые сплавы содержат на порядок меньше, чем бронзы такой экологически вредный элемент, как свинец.

#### **6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта**

1) Коммерциализация продукции состоит в организации производства нового материал и продажа его на предприятия, ремонтирующие или изготавливающие узлы трения, в которых используются бронзовые подшипники скольжения.

2) Монометаллические алюминиевые подшипники скольжения для различных отраслей промышленности, транспорта, сельского хозяйства, трубопроводного транспорта.

#### **7. Наличие соисполнителей**

1) К выполнению первого этапа проекта соисполнители не привлекались.

2) К выполнению второго этапа проекта соисполнители не привлекались.

3) К выполнению третьего этапа проекта соисполнители не привлекались.