

**Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям
развития научно-технологического комплекса России на 2014 -
2020 годы»**

**Номер Соглашения о предоставлении субсидии/государственного
контракта:** 14.575.21.0005

Название проекта: Разработка экономно легированного медного сплава и технологии производства из него трапецеидальных профилей с наноструктурой для изготовления коллекторных пластин

Основное приоритетное направление: Индустрия наносистем

Исполнитель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный национальный исследовательский университет"

Руководитель проекта: Кайбышев Рустам Оскарович

Должность: Руководитель лаборатории

E-mail: rustam_kabyshev@bsu.edu.ru

Ключевые слова: сплавы на основе меди, функциональные материалы, субмикроструктурная и нанокристаллическая структура, механические и физические свойства

Цель проекта

Цель проекта:

Разработка нового экономно легированного сплава с применением редкоземельных элементов и разработка технологии производства из экономно легированного медного сплава трапецеидальных профилей с наноструктурой для изготовления коллекторных пластин методом интенсивной пластической деформации;

Задачи проекта:

разработка нового медного сплава на основе меди с использованием редкоземельных металлов для получения оптимального сочетания механических свойств, разработка способа получения трапецеидальных профилей методом непрерывного равноканального углового прессования.

Основные планируемые результаты проекта

В рамках проекта будет разработан новый сплав с добавками редкоземельных металлов, а также будет разработана технология получения профилей трапецеидальной формы для изготовления коллекторных пластин, с комплексом механических и физических свойств, удовлетворяющих следующим требованиям:

- при комнатной температуре твердость по Бриннелю (НВ) не менее 95, временное сопротивление (σ_B) не менее 294 МПа, относительное удлинение (δ) не менее 5%,
- после нагревания полуфабрикатов до температуры 300 С и выдержки в течение 1 ч. твердость по Бриннелю (НВ) не менее 90, временное сопротивление (σ_B) после нагревания полуфабрикатов до температуры 300 С не менее 274 МПа, относительное удлинение (δ) не менее 7%,
- удельное сопротивление сплава должно быть в пределах $0,02 \pm 1 \cdot 10^{-6}$ Ом*м (IACS~85%).

Будут получены новые научные данные по механизмам формирования субмикроструктурной и/или нанокристаллической структуры во время деформации при комнатной температуре и последующего отжига в дисперсно-упрочненных сплавах меди, механизмах структурного, деформационного и дисперсионного упрочнения, закономерностях фазовых превращений в пересыщенных твердых растворах в Cu-Cr-Zr бронзах с добавками редкоземельных металлов.

Краткая характеристика создаваемой/созданной научной (научно-технической, инновационной) продукции

Конечным продуктом является новый экономно легированный медный сплав с применением редкоземельных элементов и технология производства из экономно легированного медного сплава трапецеидальных профилей с наноструктурой для изготовления коллекторных пластин методом интенсивной пластической деформации.

Разработанный медных сплав с добавлением редкоземельных элементов, обработанный по разработанной технологии будет удовлетворять следующим требованиям:

- при комнатной температуре твердость по Бриннелю (НВ) не менее 95, временное сопротивление (σ_B) не менее 294 МПа, относительное удлинение (δ) не менее 5%,
- после нагревания полуфабрикатов до температуры 300 С и выдержки в течение 1 ч. твердость по Бриннелю (НВ) не менее 90, временное сопротивление (σ_B) после нагревания полуфабрикатов до температуры 300 С не менее 274 МПа, относительное удлинение (δ) не менее 7%,
- удельное сопротивление сплава должно быть в пределах $0,02 \pm 1 \cdot 10^{-6}$ Ом*м (IACS ~85%).

Для определения заданных характеристик были проведены микроструктурные исследования, с использованием просвечивающей электронной микроскопии. Проведение непрерывного равноканального углового прессования, в качестве метода интенсивной пластической деформации, является новейшим технологическим решением, поскольку это относительно новый метод интенсивной пластической деформации.

Назначение и область применения, эффекты от внедрения результатов проекта

Результаты, полученные в рамках выполнения ПНИ будут использованы для производства профилей трапецеидальной формы, которые применяют при изготовлении пластин коллекторов электрических машин. Кроме того, они найдут применение в производстве других полуфабрикатов из высокопрочных Cu-Cr-Zr бронз с добавками редкоземельных металлов. Основным преимуществом нового сплава, который планируется разработать, будет его низкая себестоимость, при этом комплекс физико-механических свойств сохранится на высоком уровне, что позволит заменить им сплавы системы Cu-Ag, что существенно расширит область применения медных сплавов высокой прочности и электропроводности. Отметим, что полученные результаты не

будут узконаправленными, а могут быть применены также и в других отраслях промышленности, использующих медные сплавы, таких как электронной, электротехнической, ускорительной и криогенной энергетике и др.

Полученные результаты по закономерностям формирования структуры в медных сплавах в процессе интенсивной пластической деформации и последующего отжига, а также по фазовым превращениям в Cu-Cr-Zr бронз с добавками редкоземельных металлов, закономерности влияния деформированной структуры и фазового состава этих сплавов на механические и физические свойства, представляют самостоятельный научный интерес, и будут использованы как при последующей разработке новых медных сплавов, а также других аналогичных материалов, например, новых алюминиевых сплавов электротехнического назначения, а также в образовательном процессе подготовки бакалавров по материаловедческим специальностям.

Текущие результаты проекта

В рамках выполнения работ второго этапа провели исследование комплекса физико-механических свойств экономного легированного медного сплава, установили, что из трех разработанных медных сплавов с добавлением редкоземельных элементов один сплав, со следующим химическим составом BrX0,3Cr0,06I0,1 (вес. %), удовлетворяет заданным требованиям ТЗ к медному сплаву в исходном состоянии в части значений твердости 65 НВ, предела прочности 195 МПа, относительного удлинения 32% и электропроводности 96% IACS. Провели исследование фазового состава медного сплава с добавлением редкоземельных элементов. Установили, что старение сплава при температуре 550 °С в течение 4 ч приводит к выделению дисперсных частиц второй фазы со средним размером около 15 нм. Анализ электроннограмм выявил, что частицы представляют собой чистый хром. Однако, отсутствие специфического контраста между частицами хрома и медной матрицей указывает на отсутствие когерентности между частицей и медной матрицей, что в свою очередь подтверждается размером частиц хрома более 10 нм, который является предельным для сохранения когерентности между матрицей и частицей.

При исследовании влияния степени деформации на формирование субмикроструктурной структуры в рамках выполнения работ третьего этапа выявили, что механизмом ответственным за формирование наноструктуры в медном сплаве является непрерывная динамическая рекристаллизация. Проведение непрерывного равноканального прессования при температуре 400 °С сопровождается значительным упрочнением медного сплава. Так, после проведения 2 проходов непрерывного равноканального углового прессования предел прочности составил 310 МПа, а относительное удлинение на уровне 10%. Также, необходимо отметить, что электропроводность сохраняется на достаточно высоком уровне 87% IACS. Дальнейшее увеличение степени деформации приводит к росту прочностных характеристик, однако, одновременно с этим происходит падение

электропроводности. Таким образом, оптимальной степенью деформации выбрали 2 прохода непрерывного равноканального углового прессования, для получения оптимального сочетания механических и физических свойств. Для проведения последующей прокатки выбрали образцы после 2 проходов непрерывного равноканального углового прессования. Проведение прокатки незначительно повлияет на комплекс свойств, поэтому, полученные образцы трапецеидальных профилей будут обладать более высоким комплексом свойств, чем задано в ТЗ.