**Звіт про науково-дослідну роботу: „ Розробка багатокомпонентних жароміцних та жаростійких сплавів на основі системи Nb-Cr-Si з низькою питомою вагою”**

**Мета роботи** - дослідження закономірностей формування структури, фазового складу та механічних властивостей у багатокомпонентних сплавах на основі системи Nb-Cr-Si, легованих Zr, Al, Ti та Mo для підвищення їх жароміцності, жаростійкості та зменшення питомої ваги.

Терміни виконання наукової роботи: початок І кв. 2015 р.

закінчення IV кв. 2017 р.

**Керівник роботи**: Бродніковський Микола Павлович, к.ф.-м.н., (Email:brodnikovsky@ipms.kiev.ua)

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

Робота має як науковий, так і практичний інтерес. Запропоновано нові матеріали з високими експлуатаційними властивостями, які вже знайшли свого користувача. Робота заслуговує на позитивну оцінку.

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

Отримані результати роботи використовуються  для створення вузлів авіаційної та космічної техніки по прямим  договорам з кінцевими користувачами (КБ „Південне”, КБ ”Прогрес”, КНР.

Дані про реєстрацію роботи: № 0115U002108

**Реферат**

**Об’єкт досліджень** – багатокомпонентні сплави системи Nb-Cr-Si, леговані Zr, Al, Ti та Mo.

**Методи досліджень** – виготовлення сплавів на основі системи Nb-Cr-Ti-Al-Zr-Mo-Si шляхом аргоно-дугової плавки, створення різних структурних станів сплавів за допомогою деформації і відпалу, механічні випробування, ренгеноструктурний аналіз, дилатометрія та ДТА, оптична та електронна растрова мікроскопія, випробування жаростійкості сплавів при витримки на повітрі при 1000 та 1200 оС на протязі 1-10 годин.

**Мета роботи** - дослідження закономірностей формування структури, фазового складу та механічних властивостей у багатокомпонентних сплавах на основі системи Nb-Cr-Si, легованих Zr, Al, Ti та Mo для підвищення їх жароміцності, жаростійкості та зменшення питомої ваги.

Запропоновано алгоритм конструювання багатокомпонентних сплавив з урахуванням відомих закономірностей формування фазової структури, особливостей кристалізації та механічних властивостей високоентропійних сплавів для отримання заданих їх властивостей. На основі математичного моделювання з перших принципів властивостей багатокомпонентних сплавів визначено вплив хімічного складу сплавів на їх когезію та зміщення атомів із положень ідеальної решітки для прогнозування механічної поведінки сплавів.

Експериментальні дослідження дозволили встановити закономірності створення однофазної та багатофазної структур в сплавах на основі системи Nb-Cr-Ti-Al-Zr-Mo-Si. Отримано значне зменшення температури плавлення за рахунок створення евтектичного сплаву для забезпечення можливості використання методу литва для виготовлення виробів зі сплавів. Отримано сплави на основі ніобію з питомою вагою 6,54 г/см3, які мають міцність при 1000 оС 840 МПа, пластичність при 20 оС ~1% та підвищену жаростійкість. Результати роботи використано для створення сплавів для промислового впровадження по прямим договорам з кінцевими користувачами, якими є КБ Південне, КБ Прогрес, КНР.

**Ключові слова:** Багатокомпонентні сплави, ніобій, питома вага, висока температура, механічні властивості.

**Публікації**

Фирстов С.А. Влияние пластической деформации на структуру и свойства высокоэнтропийных сплавов/ Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ) // Фирстов С.А., Горбань В.Ф,Крапивка Н.А.,Даниленко Н.И,Назаренко В.А.- 2015-№2-с. 178-181.

БезымянныйЮ.Г. Акустический неразрушающий контроль многокомпонентного сплава на основе ниобия./ БезымянныйЮ.Г Козирацкий Е. А., Бродниковский Н. П., Талько О. В// Вісник Національного технічного Університету,ХПІ-2015-№ 19(1128)- 119-126.

Бродніковський М.П. Многокомпонентные жаропрочные сплавы с ниобием /Бродніковський М.П. Кулаков А.С., Крапівка М.О., Бродніковський Д.М. Самелюк О.В. Фірстов С.О “Электронная микроскопия и прочность материалов//.- 2016-вип.22- с 20-30.

Фирстов С.А. Влияние пластической деформации на фазовый состав и свойства высокоэнтропийных сплавов/ Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Даниленко Н.И.// Міжвузівський збірник ЛНТУ «Наукові нотатки»-2016-с. 326-339.

Бродниковский Н.П. О повышении технологичности ысокоэнтропийных сплавов на основе ниобия./ Бродниковский Н.П.,Кузнецова Т.Л.,Крапивка Н. А//. ІХ Международная конференция «Материалы и покрытия  в экстремальных условиях», Киев, август 2016-с. 85.

Бродниковский Н.П. Сплав на основе Nb-T-Al, механическая обработка и сварка./ Бродниковский Н.П., Еланский Ю.А., Шелягин В.Д., Кулаков А.С.// 16 Українська конференція з космічних досліджень, м. Одеса 2016, 22-27 серпня-с. 104

Бродниковский Н.П. Разработка жаропрочных, жаростойких сплавов на основе ниобия с низкой плотностью/ Бродниковский Н.П., Еланский Ю.А., Шелягин В.Д., Кулаков А.С//17-я Украинская конференция по космическим исследованиям.21-25 cерпня, Одеса-2017-с. 107.

Бродніковський М.П. Відпрацювання технології лазерного зварювання багатокомпонентних жароміцних сплавів на основі ніобію/ Бродніковський М.П., Шелягін В.Д., Бернацький А.В., Сіора О.В., Шуба І.В// VIII Международ. Конференция **«**Лучевые технологии в сварке и обработке материалов», Одесса, 11-15 сентября2017-с. 95.

Бродниковский Н.П. Отработка методики лазерной сварки многокомпонентного сплава Zr-16Cr-16Al-16Ti-16Zr/ Бродниковский Н.П., Шелягин В.Д., Бернацкий А.В., Сиора О.В., Кулаков А.С.,. Зубец Ю.Е, Фирстов С.О.// “Электронная микроскопия и прочность материалов”- 2017-вып.23-с. 84-94.

Луговий М.І. Розрахунок твердорозчинного зміцнення багатокомпонентних жароміцних сплавів/ Луговий М.І.,Слюняєв В.М.,Бродніковський М.П.,Фірстов С.О.// “Электронная микроскопия и прочность материалов”- 2017-вип.23-с. 54-64.

Бродниковский Н.П. Эвтектический сплав в системе Nb-Ti-Al-Cr-Z**r.//** Бродниковский Н.П.,Кулаков А.С., Рокицкая Е.А., Минаков Н.В.,. Самелюк А.В, Крапивка Н.А., Фирстов С.А.// “Электронная микроскопия и прочность материалов”- 2017-вип.23-с. 65-72.