

ЗАТВЕРДЖУЮ
Генеральний директор ННЦ ХФТ
Микола ШУЛЬГА



(підпис)

М.Ш.



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
про виконану роботу у 2021 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок
Фундаментальні аспекти створення принципово нових матеріалів з унікальними фізико-механічними та радіаційними властивостями на базі концентрованих багатокomпонентних сплавів

Назва конкурсу: «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»

Регістраційний номер Проєкту: 2020.02/0327

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0327 «Фундаментальні аспекти створення принципово нових матеріалів з унікальними фізико-механічними та радіаційними властивостями на базі концентрованих багатокomпонентних сплавів»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16-17» вересня 2021 року № 21.

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Загальна тривалість виконання проєкту 2020 рік – 2022 рік

Тривалість виконання Проєкту у 2021 році

Початок – 29.04.2021 року

Закінчення – 15.12.2021 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 5 279 800,00 (п'ять мільйонів двісті сімдесят дев'ять тисяч вісімсот гривень 00 копійок)

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 333 000,00 грн. (триста тридцять три тисячі гривень 00 копійок)

2-й рік 1 927 800,00 грн. (один мільйон дев'ятсот двадцять сім тисяч вісімсот гривень 00 копійок)

3-й рік 3 019 000,00 грн. (три мільйони дев'ятнадцять тисяч гривень 00 копійок).

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту залучено 6 виконавців, з них:

доктори наук 1:

кандидати наук 2:

інші працівники 3.

Інформація про виконавців (авторів) Проекту (в тому числі особи, які будуть залучені до виконання Проекту за трудовим договором або угодою цивільно-правового характеру: ПІБ, основне місце роботи, посада, науковий ступінь).

1. Толстолуцька Галина Дмитрівна, ННЦ «ХФТІ», начальник лабораторії, д.ф.-м.н.;
2. Великодний Олексій Миколайович, ННЦ «ХФТІ», старший науковий співробітник, к.ф.-м.н.;
3. Тихоновський Михайло Андрійович, ННЦ «ХФТІ», начальник лабораторії, к.ф.-м.н.;
4. Ростова Ганна Юрївна, ННЦ «ХФТІ», молодший науковий співробітник;
5. Клименко Ілля Олегович, ННЦ «ХФТІ», молодший науковий співробітник;
6. Левенець Анастасія Володимирівна, ННЦ «ХФТІ», молодший науковий співробітник.

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»

Учасник

Державна організація (установа, заклад, підприємство)

Організаційно-правова форма підприємства установи організації

Національна академія наук України

Підпорядкованість підприємства установи організації

14312223

Код ЄДРПОУ

72.19; 85.42; 91.02

Код(и) КВЕД

Фізика радіаційних явищ, іонно-променеві технології та радіаційне матеріалознавство

Стратегічні напрями наукової діяльності

Микола Федорович Шульга

ПІБ керівника підприємства установи організації

61108, вул. Академічна, 1, Харків, Україна

Юридична адреса підприємства установи організації

61108, вул. Академічна, 1, Харків, Україна

Поштова адреса

61108, вул. Академічна, 1, Харків, Україна

Фактична адреса

+38 (057) 335-35-30

Телефон

nsc@kipt.kharkov.ua

Адреса електронної пошти

Субвиконавці до виконання Проекту не залучені.

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проекту (до 200 знаків)

Створення наукових основ керування структурою, фізико-механічними та радіаційними властивостями принципово нового класу металевих матеріалів на основі багатокомпонентних концентрованих сплавів (БККС) та реалізація отриманих фундаментальних результатів для розробки конкретних матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

4.2. Основні завдання Проекту (до 400 знаків)

Удосконалення фізичних принципів вибору основних елементів БККС для створення керованих структурних станів. Розробка шляхів оптимізації типу та вмісту легуючих елементів.

Дослідження впливу різних методів й режимів термомеханічної обробки на розмір зерен і вторинних фаз та механічні характеристики БККС. Вивчення механізмів пластичної деформації, корозії, радіаційних пошкоджень, радіаційного розпухання та радіаційного зміцнення (окрихчення) БККС. Розробка окремих БККС цільового призначення і патентування їх складу та способів отримання.

4.3. Детальний зміст Проекту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Потенціал конструкційних матеріалів, що експлуатуються в даний час в ядерній енергетиці та інших галузях техніки, вважається практично вичерпаним. Новий клас матеріалів - «багатокомпонентні концентровані сплави», до яких відносяться високоентропійні сплави (ВЕС), мають унікальні механічні і функціональні характеристики, що перевершують характеристики звичайних сплавів на базі одного елементу. Кількість публікацій в області БККС (ВЕС) в даний час зростає майже експоненціально.

- Новизна Проекту (до 400 знаків)

В більшості опублікованих праць досліджувався один якийсь аспект БККС. В рамках даного проекту на сплавах трьох типів багатокомпонентних систем, вперше буде проведено широкий комплекс досліджень. Такий комплексний підхід дозволить глибше зрозуміти фізичні процеси, що відбуваються в багатокомпонентних системах в різних умовах, та оптимізувати процеси отримання нових матеріалів з унікальними фізико-механічними та радіаційними властивостями.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Для проведення комплексних досліджень будуть використані сучасні експериментальні методи: електронна мікроскопія, рентгеноструктурний аналіз, механічні випробування (включаючи наноіндентування). Для отримання і обробки БККС будуть застосовані різні технологічні методи: аргонно-дугова плавка, екструзія, прокатка, термічна обробка в високотемпературних вакуумних печах та ін. Буде проведено опромінення з використанням різних прискорених іонів в широкій області температур і радіаційних доз.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проекту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проекту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Методами рентгеноструктурного аналізу та електронної мікроскопії досліджено вплив легування атомами проникнення (вуглецем) на структуру та механічні властивості литих сплавів $Co_{25-x}Cr_{25}Fe_{25}Ni_{25}C_x$ ($x=0, 1, 3$ ат.%), а також тугоплавких сплавів $TiZrHfNb$ та $(TiZrHfNb)_{98}O_2$ з крупнозернистою (КЗ) мікроструктурою. Для КЗ сплавів $Co_{25-x}Cr_{25}Fe_{25}Ni_{25}C_x$ встановлено, що всі сплави мають дендритну мікроструктуру, розвинутість якої збільшується з ростом концентрації вуглецю x . З'ясовано, що дендрити збагачені залізом та кобальтом, а міждендритні області – хромом. Розчинність вуглецю в литому КЗ сплаві $Co_{25-x}Cr_{25}Fe_{25}Ni_{25}C_x$ становить близько 1 ат.%. При концентраціях вуглецю x більше за 1 ат.% в сплавах у міждендритних областях формується евтектика, що складається з багатокомпонентної матриці та твердих евтектичних карбідів M_7C_3 . Мікротвердість сплавів при зміні концентрації від 0 до 3 ат.% збільшується на 60%. При зниженні температури від кімнатної до температури рідкого азоту мікротвердість сплавів зростає приблизно у 1.5-1.7 рази, що вказує на термоактивований характер пластичної деформації. Литі сплави $TiZrHfNb$ також мають дендритний характер, який зберігається при легуванні їх киснем. Мікротвердість сплавів $TiZrHfNb$ становить 1850 МПа та збільшується при легуванні 2 ат.%

кисню до 3250 МПа. Істотно збільшується також межа плинності $\sigma_{0.2}$ і межа міцності σ_b при всіх температурах випробувань (77 К, 300 К і 923 К) на розтяг, особливо при кімнатній температурі. При цьому пластичність при температурах 77 К та 300 К зменшується незначно, а при 923 К падає у кілька разів. Це свідчить про небажаність присутності кисню в багатокомпонентних тугоплавких сплавах, призначених для роботи при підвищених температурах. Зазначимо, що отримані результати дозволили оптимізувати склад сплаву, розробленого у процесі виконання попереднього етапу проєкту, у зв'язку з чим було підготовлено заявку на патент «Багатокомпонентний сплав». Сплав має низьку щільність, високі міцнісні та корозійні характеристики.

Вивчено можливість створення наноструктурного стану у сплавах $\text{Co}_{25-x}\text{Cr}_{25}\text{Fe}_{25}\text{Ni}_{25}\text{C}_x$ та CoCrFeNiMn . ІПД сплаву $\text{Co}_{25-x}\text{Cr}_{25}\text{Fe}_{25}\text{Ni}_{25}\text{C}_x$ здійснювалася методом кручення під високим тиском, а для сплавів CoCrFeNiMn , крім цього методу, застосовувався оригінальний спосіб, розроблений за участі авторів проєкту. Спосіб полягає в багаторазовому проведенні операцій осаджування та видавлювання, причому ці операції здійснюються в умовах квазігідростатичних стискаючих напруг. ІПД сплавів $\text{Co}_{25-x}\text{Cr}_{25}\text{Fe}_{25}\text{Ni}_{25}\text{C}_x$ призводить до створення нанокристалічного (НК) стану (подрібнення зерен до 30-50 нм), підвищення щільності дислокацій та концентрації дефектів пакування. В результаті мікротвердість сплавів збільшується більш ніж утричі. Виявлено, що на відміну від крупнозернистого стану, де мікротвердість HV монотонно зростає зі збільшенням концентрації вуглецю x , у нанокристалічних сплавах максимум мікротвердості досягається при концентрації вуглецю $x=1$ ат.%. Фізичною причиною цього є наявність у сплаві з концентрацією вуглецю 3 ат.% твердих включень карбідів, які перешкоджають ефективному подрібненню зерен при ІПД. В результаті сплав з $x=1$ ат.%, має найменший розмір зерна, а також найвищі значення густини дислокацій та концентрації дефектів упаковки. При цьому деформація НК сплавів в області температур 300-77 К, як і в КЗ сплавах, має термоактивований характер. Отримані результати вказують на те, що основну роль в зміцненні КЗ сплавів $\text{Co}_{25-x}\text{Cr}_{25}\text{Fe}_{25}\text{Ni}_{25}\text{C}_x$ ($x=0, 1, 3$) відіграють твердорозчинне і дисперсійне зміцнення, в той час як в НК сплавах - зміцнення, обумовлене зменшенням розміру зерна (відповідно до співвідношення Хола-Петча) і збільшенням щільності дислокацій (відповідно до співвідношення Тейлора). Дослідження термічної стабільності НК сплавів $\text{Co}_{25-x}\text{Cr}_{25}\text{Fe}_{25}\text{Ni}_{25}\text{C}_x$ показало, що наявність вуглецю підвищує температуру рекристалізації, тобто покращує термостабільність.

При дослідженні сплавів CoCrFeNiMn виявлено однозначний зв'язок між HV та межею плинності сплавів $\sigma_{0.2}$ у всьому інтервалі вивчених температур (300-77 К), що дозволяє визначати важливу величину $\sigma_{0.2}$ із простих вимірювань мікротвердості.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Проєкт є фундаментальним і не потребує науково-технічної продукції.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Проєкт має фундаментальний характер. Однак практична цінність запланованих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства може бути визначена за сукупними результатами виконання роботи.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Результати проєкту будуть в подальшому використані задля розвитку фізики складних багатокомпонентних систем та розробки нових матеріалів для використання у ядерній та термоядерній енергетиці, а також, в інших областях техніки.

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту

Начальник лабораторії, д.ф.-м.н.
(посада)

Галина ТОЛСТОЛУЦЬКА

(Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)



(підпис)