

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U003264

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 24-10-2024

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ростова Ганна Юріївна

2. Hanna Y. Rostova

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1329-9016

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Фізика та астрономія

Дата захисту: 27-11-2024

Спеціальність за освітою: фізичне матеріалознавство

Місце роботи здобувача: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут"  
Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 04

**Повне найменування юридичної особи:** Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 14312223

**Місцезнаходження:** вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 14312223

**Місцезнаходження:** вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 29.19.13, 29.19.21, 29.19.04

**Тема дисертації:**

1. Механізми впливу термомеханічної обробки на радіаційну стійкість, ерозійні та механічні властивості конструкційних матеріалів
2. Mechanisms of thermomechanical treatment effect on radiation resistance, erosion and mechanical properties of structural materials

**Реферат:**

1. Ростова Г. Ю. Механізми впливу термомеханічної обробки на радіаційну стійкість, ерозійні та механічні властивості конструкційних матеріалів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104– Фізика та астрономія (Галузь знань 10 – Природничі науки).– Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» Національної академії наук України, Харків, 2024. Дисертаційна робота присвячена модифікації структури конструкційних реакторних матеріалів із застосуванням термомеханічної обробки та встановленню кореляції між їх структурою та механічними, радіаційними властивостями і стійкістю до кавітаційної ерозії. Розділ 1 присвячено огляду літератури по темі дисертації. Розглянуто типи та експлуатаційні характеристики

реакторів Gen-IV, наведені сучасні та перспективні конструкційні матеріали для реакторів майбутніх поколінь, їхні структурні характеристики та вплив легуючих елементів для кожного типу матеріалів на структурно-фазовий стан та властивості. Відображено актуальні питання радіаційного матеріалознавства. На основі досліджених джерел сформульовано задачі роботи. У другому розділі представлено досліджувані матеріали, методи дослідження та експериментальне обладнання, використані в дисертаційній роботі. Матеріалами досліджень були – феритно-мартенситні сталі Т91 та Eurofer97, аустенітний Cr-Ni-Mo сплав 42ХНМ і аустенітна сталь 08Х18Н10Т. Наведено методику проведення інтенсивної пластичної деформації та режимів температурної обробки. Хімічний склад матеріалів вивчався методами рентгенофлуоресцентного аналізу та EDX, структура досліджувалась за допомогою оптичної, сканувальної, трансмісійної мікроскопії та рентгенструктурним аналізом. Механічні властивості включали визначення мікротвердості, умовної межі плинності, межі міцності та відносного подовження при розтягуванні. Також розглянуті методики проведення випробувань для визначення кавітаційної та радіаційної стійкості досліджуваних матеріалів. У третьому розділі наведені результати досліджень структури та механічних властивостей сталі Т91 в вихідному стані та після термомеханічної обробки (ТМО) в різних температурних інтервалах. Використання інтенсивної пластичної деформації методом багаторазового «осаджування-видавлювання» дозволило модифікувати структуру сталі Т91 та сформувати ультрадрібнозернистий стан, а також досягти високої щільності нанорозмірних карбідів типу МХ. Були визначені температури стабільності наноструктури для кожного мікроструктурного стану. Оптимальним є відпускання при 550 °С протягом 25 годин для формування найбільшої щільності рівномірно розподілених нанорозмірних карбідних виділень. Застосування термомеханічної обробки за розробленими режимами дозволило підвищити характеристики міцності сталі Т91 у 2 рази. Розділ 4 присвячений результатам досліджень розвитку поруватої структури після опромінення сталі Т91 у різних структурних станах. Встановлено, що сталь Т91 має високу радіаційну стійкість, яка обумовлена особливостями мікроструктури цієї сталі, яка складається з цілого комплексу ефективних стоків точкових дефектів – наноструктурного стану матеріалу, високої щільності дислокацій та нанорозмірних карбідних виділень. Розпухання у феритній структурі становить 0.65% порівняно з 0.26% для мартенситної структури та 0.12% для ферито-мартенситної, що підтверджує вплив структурно-фазового стану сталі Т91 на її розпухання. Така різниця пов'язана з наявністю великої кількості стоків точкових дефектів (границі ламелей, зерен та субзерен; висока щільність дислокацій та когерентних нанорозмірних виділень) у більш складній ферито-мартенситній мікроструктурі та мартенситі. У п'ятому розділі представлені результати дослідження кавітаційної стійкості ферито-мартенситних сталей Т91 і Eurofer 97 та аустенітних сплавів 42ХНМ та 08Х18Н10Т. Встановлено, що найбільшу стійкість до кавітаційного зношування мають сталь Т91 та сплав 42ХНМ. Їхня переважаюча кавітаційна стійкість обумовлена оптимальним композиційним складом, особливостями мікроструктури та високими значеннями твердості. Визначено, що ерозійна стійкість аустенітної сталі 08Х18Н10Т пов'язана із деформаційно-індукованим фазовим перетворенням аустеніту в мартенсит, яке призводить до зміцнення поверхні під час дії кавітації та підвищує стійкість до ерозії. Невисока стійкість до зношування сталі Eurofer 97 обумовлена глобулярною структурою цієї сталі, наявністю карбідів великих розмірів та відсутність в її складі легуючих елементів, таких як Мо та Nb, які обумовлюють підвищення кавітаційної стійкості.

2. Rostova H. Yu. Mechanisms of thermomechanical treatment effect on radiation resistance, erosion and mechanical properties of structural materials. – Qualification scientific work on the rights of a manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 104 - Physics and Astronomy (Field of Knowledge 10 - Natural Sciences) – National Science Center “Kharkiv Institute of Physics and Technology” of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, 2024. This thesis is dedicated to the modification of the structure of structural reactor materials using thermomechanical treatment and the establishment of a correlation between their structure and mechanical, radiation properties and resistance to cavitation erosion. Chapter 1 is concerned with the literature review on the topic of the dissertation. The types and operational characteristics of Gen-IV reactors are discussed, modern and promising structural materials for future generations of reactors, their structural characteristics, and the effect of alloying elements for each type of material on the structural and phase

state and properties are presented. The topical issues of radiation materials science are reflected. Based on the studied sources, the tasks of the work are formulated. The second chapter presents the materials studied, research methods and experimental equipment used in this thesis. The materials of investigation were ferritic-martensitic steels T91 and Eurofer97, austenitic Cr-Ni-Mo alloy 42HNM and austenitic steel 08Cr18Ni10Ti. The methodology for severe plastic deformation and temperature treatment modes is presented. The chemical composition of the materials was studied by X-ray fluorescence analysis and EDX, and the structure was investigated by optical, scanning, transmission microscopy and X-ray diffraction analysis. The mechanical properties included determination of microhardness, yield strength, tensile strength, and relative elongation at break. The test methods for determining the cavitation and radiation resistance of the materials under study are also discussed. Chapter 3 presents the results of investigations of the structure and mechanical properties of T91 steel in the initial state and after thermomechanical treatment (TMT) in different temperature intervals. The use of severe plastic deformation by the method of multicycle "upsetting-extrusion" made it possible to modify the structure of T91 steel and form an ultrafine-grained state, as well as to achieve a high density of nanosized carbides of the MX type. The stability temperatures of the nanostructure for each microstructural state were determined. The optimal temperature is tempering at 550 °C for 25 hours to form the highest density of homogeneously distributed nanosized carbide precipitates. The use of thermomechanical treatment according to the developed modes made it possible to increase the strength characteristics of T91 steel by 2 times. Chapter 4 is devoted to the results of investigation of the development of the porous structure after irradiation of T91 steel in different structural states. It was found that T91 steel has high radiation resistance due to the features of the microstructure of this steel, which consists of a whole complex of effective point defect sinks - the nanostructural state of the material, high density of dislocations, and nanoscale carbide precipitates. The swelling in the ferrite structure is 0.65% compared to 0.26% for the martensitic structure and 0.12% for the ferritic-martensitic structure, which confirms the influence of the structural and phase state of T91 steel on its swelling. This difference is due to the presence of a large number of point defect sinks (lamellae, grain, and subgrain boundaries; high density of dislocations and coherent nanoscale precipitates) in the more complex ferritic-martensitic microstructure and martensite. The fifth chapter presents the results of investigation of the cavitation resistance of ferritic-martensitic steels T91 and Eurofer 97 and austenitic alloys 42HNM and 08Cr18Ni10Ti. It was found that T91 steel and 42HNM alloy have the highest resistance to cavitation wear. Their superior cavitation resistance is due to the optimal composition, microstructure features, and high hardness values. It has been determined that the erosion resistance of austenitic steel 08Cr18Ni10Ti is related to the deformation-induced phase transformation of austenite into martensite, which leads to surface hardening under cavitation and increases erosion resistance. The low wear resistance of Eurofer 97 is due to the globular structure of this steel, the presence of large carbides and the absence of alloying elements such as Mo and Nb, which increase cavitation resistance.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- Voyevodin V., Tikhonovsky M., Tolstolutska G., Rostova H., Vasilenko R., Kalchenko O., Andrievska N., and Velikodnyi O. "Structural Features and Operational Characteristics of Steel T91". East European Journal of Physics, no. 3, 2020, pp. 93-98.

- Rostova H. Yu., and G. D. Tolstolutska. "A Review: Ferritic–Martensitic Steels – Treatment, Structure and Mechanical Properties". Problems of Atomic Science and Technology, no. 4(140), 2022, pp. 66–84.
- Rostova H.Yu., Kolodiy I.V., Vasilenko R.L., Kalchenko O.S., Tikhonovsky M.A., Velikodnyi O.M., Tolstolutska G.D., Okovit V.S. "Effect of severe plastic deformation at high temperature on the microstructure and mechanical properties of ferritic–martensitic steel T91". Problems of atomic science and technology, № 4(152), 2024, pp. 54–63.
- Voyevodin V.N., Tikhonovsky M.A., Rostova H.Yu., Kalchenko A.S., Kolodiy I.V., Andrievskaya N.F., Okovit V.S., Serrano M., Hernandez R., Velikodnyi O.M., and Levenets A.V. "A New Approach to Thermo–Mechanical Treatment of Steel T91 by Multiple Upsetting–Extrusion in a Ferritic Range". Materials Science and Engineering: A, v. 822, 2021, Art. 141686.
- Rostova H.Yu., Voyevodin V.N., Vasilenko R.L., Kolodiy I.V., Kovalenko V.I., Marinin V.G., Zuyok V.A. and Kuprin A.S. "Cavitation Wear of Eurofer 97, Cr18Ni10Ti and 42HNM Alloys". Acta Polytechnica, v. 61, № 6, 2021, pp. 762–767.
- Rostova H. Yu., Tolstolutska G. D., Vasilenko R. L., Kolodiy I. V., Kovalenko V. I., Marinin V. G., Tikhonovsky M. A., and Kuprin O. S. "Cavitation Wear of T91 Ferritic–Martensitic Steel". Materials Science, v. 58., № 3, 2022, pp. 364–368.

**Наукова (науково–технічна) продукція:** технології; матеріали

**Соціально–економічна спрямованість:** економія енергоресурсів; економія матеріалів

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Планується до впровадження

**Зв'язок з науковими темами:** 0119U000004; 0120U101256; 0121U108779

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По–батькові:**

1. Толстолицька Галина Дмитрівна

2. Galyna D. Tolstolutska

**Кваліфікація:** д.ф.–м.н., професор, член–кор. НАН України, 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000–0003–3091–4033

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний науковий центр "Харківський фізико–технічний інститут" Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 14312223

**Місцезнаходження:** вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р–н., 61108, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

## Офіційні опоненти

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Пойда Володимир Павлович
2. Volodymyr P. Poyda

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7970-7145

### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Код за ЄДРПОУ:** 02071205

**Місцезнаходження:** майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Студент Олександра Зіновіївна
2. Olexandra Z. Student

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.02.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5638-2744

### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534506

**Місцезнаходження:** вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

## Рецензенти

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Соколенко Володимир Іванович
2. Volodymyr I. Sokolenko

**Кваліфікація:** д.ф.-м.н., с.н.с., 01.04.07

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-1821-4042

### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 14312223

**Місцезнаходження:** вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Махлай Вадим Олександрович

2. Vadim O. Mahlay

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., с.н.с., 01.04.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5258-7793

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 14312223

**Місцезнаходження:** вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Пилипенко Микола Миколайович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Пилипенко Микола Миколайович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

ННЦ ХФТІ ОКД

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна