

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра физики твёрдого тела и нанотехнологий

ДОРОГОКУПЕЦ

Даниил Юрьевич

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ

СПЛАВОВ ЦИРКОНИЯ

Zr-Cu И Zr-Nb-Cu ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА

Дипломная работа

Научный руководитель:

канд. физ.-мат. наук, доцент

Шиманский Виталий Игоревич

Допущен к защите

«___» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой физики твердого тела и нанотехнологий

доктор физ.-мат. наук, профессор В.В. Углов

Минск, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1 ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ЦИРКОНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ.....	7
1.1 Свойства циркония.....	7
1.2 Область применения циркониевых сплавов.....	8
1.3 Окисление циркониевых сплавов.....	9
1.4 Структура циркониевых сплавов	11
1.5 Методы повышения термической стабильности циркония.....	13
1.6 Воздействие компрессионных плазменных потоков на материалы.....	15
ГЛАВА 2 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА.....	18
2.1 Объект исследования	18
2.2 Рентгеноструктурный анализ.....	18
2.3 Рентгеноспектральный микроанализ	20
2.4 Растровая электронная микроскопия	21
2.5 Измерение микротвердости	22
ГЛАВА 3 ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА СПЛАВЫ Zr-Cu И Zr-Nb-Cu	23
3.1 Структурное состояние сплавов Zr-Cu и Zr-Nb-Cu после обработки компрессионными плазменными потоками	23
3.2 Термическая стабильность сплавов Zr-Cu и Zr-Nb-Cu после обработки компрессионными плазменными потоками	28
3.3 Механические свойства сплавов Zr-Cu и Zr-Nb-Cu	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	41

РЕФЕРАТ

Дипломная работа: 42 с., 29 рис., 2 табл., 19 источников, 0 прил.

Ключевые слова: ЦИРКОНИЕВЫЕ СПЛАВЫ, ОБРАБОТКА КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ, ОКИСЛЕНИЕ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ, РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ, РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЙ МИКРОАНАЛИЗ.

Объект исследования: Образцы технически чистого циркония в виде прямоугольных пластинок размерами 10×10×2 мм, содержащего минимальное количество примесей, с нанесённым на их поверхность покрытием меди и ниобия.

Цель исследования: Изучение термической стабильности сплавов циркония, легированных медью и ниобием, которые подвергались влиянию высокоэнергетического плазменного воздействия, а затем окислялись в воздушной атмосфере при температуре 400 °С.

Методы исследования: Рентгеноструктурный анализ, рентгеноспектральный микроанализ, растровая электронная микроскопия, измерение микротвёрдости.

Полученные результаты и их новизна: Хорошие стойкость к окислению на воздухе, сопротивление трению, показатели микротвёрдости и термическая стабильность.

Область возможного практического применения: Конструкционные материалы и оболочки твэлов в реакторах типа ВВЭР.

Автор работы подтверждает, что приведённый в ней расчётно-аналитический материал правильно и объективно отражает состояние исследуемого процесса, а все заимствованные положения и концепции из литературных и других источников сопровождаются ссылками на их авторов.

РЭФЕРАТ

Дыпломная работа: 42 с., 29 мал., 2 табл., 19 крыніц, 0 дадаткаў.

Ключавыя словы: ЦЫРКОНІЕВЫЯ СПЛАВЫ, АПРАЦОЎКА КАМПРЭСІЙНЫМІ ПЛАЗМЕННЫМІ ПАТОКАМІ, АКІСЛЕННЕ ЦЫРКОНІЕВЫХ СПЛАВАЎ, РЭНТГЕНАСТРУКТУРНЫ АНАЛІЗ, РЭНТГЕНАСПЕКТРАЛЬНЫ МІКРААНАЛІЗ.

Аб’ект даследавання: Узоры тэхнічна чыстага цырконія ў выглядзе прамавугольных пласцінак памерамі $10 \times 10 \times 2$ мм, якія змяшчаюць мінімальную колькасць прымешак, з нанесеным на іх паверхню пакрыццём медзі і ніёбія.

Цэль даследавання: Вывучэнне тэрмічнай стабільнасці сплаваў цырконія, легіраваных меддзю і ніёбіем, якія падвяргаліся ўплыву высокаэнергетычнага плазменнага ўздзеяння, а затым акісляліся ў паветранай атмасферы пры тэмпературы 400°C .

Метады даследавання: Рэнтгенаструктурны аналіз, рэнтгенаспектральны мікрааналіз, растрвая электронная мікраскапія, вымярэнне мікрацвёрдасці.

Атрыманыя вынікі і іх навізіна: Добрыя ўстойлівасць да акіслення на паветры, супраціў трэнню, паказчыкі мікрацвёрдасці і тэрмічная стабільнасць.

Вобласць магчымага практычнага прымянення: Канструкцыйныя матэрыялы і абалонкі твэлаў у рэактарах тыпу ВВЭР.

Аўтар работы пацвярджае, што прыведзены ў ёй разлікова-аналітычны матэрыял правільна і аб’ектыўна адлюстроўвае стан доследнага працэсу, а ўсе запазычаныя становішча і канцэпцыі з літаратурных і іншых крыніц суправаджаюцца спасылкамі на іх аўтараў.

SUMMARY

Graduate work: 42 p., 29 fig., 2 tab., 19 references, 0 app.

Key words: ZIRCONIUM ALLOYS, TREATMENT WITH COMPRESSION PLASMA STREAMS, OXIDATION OF ZIRCONIUM ALLOYS, X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS, X-RAY SPECTRAL MICROANALYSIS.

Object of research: Samples of technically pure zirconium in the form of rectangular plates measuring 10×10×2 mm, containing a minimum amount of impurities, with a coating of copper and niobium applied to their surface.

Purpose of research: Study of the thermal stability of zirconium alloys alloyed with copper and niobium, which were exposed to high-energy plasma exposure and then oxidized in an air atmosphere at a temperature of 400 °C.

Research methods: X-ray diffraction analysis, X-ray spectral microanalysis, scanning electron microscopy, microhardness measurement.

Obtained results and their novelty: Good air oxidation resistance, friction resistance, microhardness and thermal stability.

Area of possible practical application: Structural materials and fuel element shells in VVER type reactors.

The author of the paper confirms that computational and analytical material presented in it correctly and objectively reproduces the picture of investigated process, and all borrowed provisions and concepts from literary and other sources are given references to their authors.