

HZDR



Центр им. Гельмгольца Дрезден-Россендорф | Bautzner Landstr. 400 | D-01328 Дрезден

Диссертационный совет ДС.ТПУ.03

Проспект Ленина, 30

Томск

634050 Россия

Институт Радиационной Физики

Отделение ядерной физики

Доктор Maciej Oskar Lidke

Тел.: +49 351 260-2117

Факс +49 351 260-12117

m.lidke@hzdr.de

Наша рекомендация: ЮБ-рец.

Рецензия

на автореферат диссертации Бордулева Юрия Сергеевича «Водород-индуцированные дефекты в сплаве Zr1%Nb», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Тема диссертации очень актуальна в настоящее время, так как сплавы на основе Zr широко используются в оболочках труб для ядерного топлива из-за их малого поперечного сечения поглощения тепловых нейтронов, хорошей пластичности, отличной коррозионной/водородизирующей стойкости и высокой механической прочности. Улучшенные свойства материалов сплавов Zr-Nb объясняются их микроструктурой, связанной с присутствием элементов переходных металлов, особенно Nb. Ниобий добавляют для повышения коррозионной стойкости и улучшения механических свойств сплавов Zr. Однако проблема взаимодействия водорода с этими сплавами всё ещё актуальна. Поглощение водорода в сплавах Zr, даже в нормальных условиях эксплуатации, приводит к охрупчиванию, замедленному гидриднему растрескиванию или образованию блистеров, а также является одним из основных факторов, сокращающих срок службы компонентов, таких как напорные трубки в ядерных реакторах. Кроме того, он может вызывать определенное разбухание, когда водород растворяется в металлической матрице. Индуцированные водородом дефекты также

Helmholtz-Zentrum
Dresden-Rossendorf e.V.

Visitors' Address
Bautzner Landstr. 400
D-01328 Dresden
<http://www.hzdr.de>

Board of Directors
Prof. Dr. Dr. h. c. Roland Sauerbrey
Prof. Dr. Dr. h. c. Peter Joehnk

Company Registration Number:
VR 1843 Amtsgericht Dresden

Bank Details:
Commerzbank AG
Account No. 0402 657 300
(Bank Code 850 800 00)
BIC DRESDEFF850
IBAN DE42 8508 0000 0402 6573 00

VAT ID-No.: DE140213784



ответственны за серьезные изменения, происходящие внутри материала во время гидрирования. Более того, процесс эволюции дефектов, вызванных воздействием водорода и находящихся под его влиянием, недостаточно изучен для многих материалов, в том числе для циркония. Методы позитронно-аннигиляционной спектроскопии являются очень хорошими инструментами для исследования данных процессов.

Цель, задачи и инструменты, которые Юрий Бордулев использовал в этом исследовании, хорошо соответствуют теме и содержанию работы. Результаты, представленные в диссертации, включают отличную методологическую работу по подготовке материалов и обработке спектров, оценке основных характеристик взаимодействия позитронов с системой цирконий-водород и, конечно же, новые знания в области образования дефектов в сплаве Zr-Nb, применяемом в качестве материала для ядерной энергетики, под воздействием водорода.

Важно отметить, что помимо высоко-чувствительных методов, таких как позитронно-аннигиляционная спектроскопия, Юрий Бордулев также использовал традиционные инструменты для исследования дефектов (просвечивающая электронная микроскопия и рентгеновская дифракция). Результаты представленных исследований хорошо коррелируют не только друг с другом, но и с результатами, полученными посредством математической модели, описанной в работе.

В заключение следует отметить, что диссертация «Водород-индуцированные дефекты в сплаве Zr1%Nb» полностью соответствует требованиям Высшей Аттестационной Комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации для диссертаций на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук., специальность 01.04.07 - физика конденсированных сред. Диссертационная работа соответствует параграфу 8 Приказа о присвоении степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, и её автор, Бордулев Юрий Сергеевич, полностью заслуживает желаемой степени.

Я согласен на обработку моих персональных данных.

HZDR, 06.02.2020

Я подтверждаю подпись Maciej Oskar Lidke

06.02.2020

(Ученый секретарь руководителя института)

П
С

Л
Л



Dissertation committee ДС.ТПУ.03
Lenin avenue, 30
Tomsk
634050 Russia

Institute of Radiation Physics
Division of Nuclear Physics

Dr. Maciej Oskar Liedke
Phone +49 351 260-2117
Fax +49 351 260-12117
m.liedke@hzdr.de

Our reference YB-rev
06.02.2020

Helmholtz-Zentrum
Dresden-Rossendorf e.V.

Bautzner Landstraße 400
D-01328 Dresden
<http://www.hzdr.de>

Board of Directors:
Prof. Dr. Dr. h. c. Roland Sauerbrey
Dr. Ulrich Breuer

Company Registration Number:
VR 1693, Amtsgericht Dresden

Bank Details:
Commerzbank AG
SWIFT DRESDEFF850
IBAN DE42 8508 0000 0402 6573 00

VAT-ID-No.: DE140213784

Review

on the abstract of dissertation by **Yuri Sergeyevich Bordulev** "Hydrogen-induced defects in the Zr1%Nb alloy" submitted for the degree of candidate of physical and mathematical sciences in the specialty 01.04.07 - condensed matter physics.

The topic of dissertation is very relevant at present time, since Zr-based alloys are widely used in cladding tubes for nuclear fuels due to their small thermal neutron absorption cross-section, good ductility, excellent corrosion/hydrogenation resistance and high mechanical strength. The improved material properties of Zr-Nb alloys are attributed to their microstructure associated with the presence of transition metal elements, especially Nb. Niobium is added to increase corrosion resistance and to improve the mechanical properties of Zr alloys. However, the problem of hydrogen interaction with these alloys is still of an issue. The hydrogen pick-up in Zr alloys, even in normal operation conditions, leads to embrittlement, delayed hydride cracking or a formation of blisters, and is one of the main factors that reduce the component life like the pressure tubes in type reactors. In addition it can induce certain swelling when the hydrogen dissolves in the metallic matrix. The hydrogen-induced defects are also responsible for major changes occurring inside the material during hydrogenation. Moreover, the process of hydrogen-induced defects evolution during hydrogen loading is insufficiently investigated for many materials, including zirconium. The positron annihilation spectroscopy techniques as a scientific probe fit very well in the requirements specified for this research.

The aim, tasks, and instruments that Yuriy Bordulev utilized in this research correspond very well to the topic and the scope of work.

The results, presented in the dissertation include good methodological work on material preparation and spectra processing, evaluation of the basic characteristics of positron interaction with the zirconium-hydrogen system, and of course, new knowledge in the area of hydrogen-induced defects in zirconium-niobium nuclear materials.

It is important to note that besides high-sensitivity techniques, e.g. positron annihilation spectroscopy, Yuriy Bordulev has used traditional instruments for defects investigation, too (like transmission electron microscopy and X-ray diffraction). Experimental results of this study are well correlated with



Page 2

each other, including results of mathematical modelling and available literature.

As a conclusion, the dissertation "Hydrogen-induced defects in the Zr1%Nb alloy" fully meets the requirements of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for dissertations for the degree of candidate of physical and mathematical sciences, specialty 01.04.07 - condensed matter physics. The thesis corresponds to paragraph 8 of the Order for degrees at the National Research Tomsk Polytechnic University, and its author, Yuri Sergeyevich Bordulev, fully deserves the desired degree.

I agree to the processing of my personal data.



HZDR, 06.02.2020

I confirm signature of Maciej Oskar Liedke

06.02.2020
(Scientific Secretary of the Head of Institute)



Helmholtz-Zentrum
Dresden - Rossendorf e. V.
Institute of Radiation Physics
Bautzner Landstraße 400
01328 Dresden
Germany