

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бордулева Юрия Сергеевича «ВОДОРОД-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ДЕФЕКТЫ В СПЛАВЕ  $Zr1\%Nb$ », представленный на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

Диссертация Бордулева Ю.С. посвящена важной проблеме – применению методов позитронной спектроскопии для исследования микроструктурных изменений в системе циркониевый сплав-водород.

Водородное охрупчивание конструкционных материалов является весьма серьезной проблемой при эксплуатации технологического оборудования в атомной, химической и нефтегазовой промышленности. Разрушения случаются внезапно, без видимых причин и предупреждений, без признаков внешнего повреждения. Накопление водорода в дефектах металла вызывает значительное ухудшение эксплуатационных характеристик материала, поэтому изучение процессов взаимодействия водорода с несовершенствами структуры металла представляет большой практический интерес.

В данной работе особое внимание уделено применению методов спектрометрии по времени жизни позитронов и спектрометрии доплеровского уширения аннигиляционной линии. Используя комбинации применения этих двух методик, в купе с использованием традиционных инструментов исследования структуры материалов, а также методов математического моделирования, можно получить наиболее полную информацию об изменении внутренней структуры материала, в том числе после воздействия водорода. Именно этот путь избрал Бордулев Ю.С. для достижения цели своей работы: установление закономерностей эволюции дефектной и кристаллической структуры сплава  $Zr1\%Nb$  при водородном насыщении на основе теоретических и экспериментальных исследований.

Бордулевым Ю.С. была проведена значительная методическая работа по созданию процедуры подготовки образцов для исследования дефектов в системах металл-водород методами аннигиляции позитронов. Также, было определено влияние на базовые характеристики аннигиляции позитронов основных типов дефектов, образующихся в результате насыщения водородом. Наконец, Бордулев Ю.С. осуществил комплексное исследование водород-индуцированных дефектов в сплаве  $Zr1\%Nb$  при различных концентрациях водорода.

Следует отметить хорошее согласование результатов, полученных различными методиками исследования структуры материала в данной работе между собой, а также с результатами математического моделирования и представлениями о природе водород-индуцированных дефектов в других материалах, известных из исследований ученых в данной области.

Судя по автореферату, публикациям в журналах (3 статьи в журналах из перечня ВАК, 9 статей в зарубежных изданиях, входящих в базы данных Web of Science и Scopus), докладам на международных и российских конференциях,

соискателем был проделан большой объем исследований, работа выполнена на высоком научном уровне.

В тоже время представленная работа не лишена некоторых недостатков. Можно отметить следующие замечания:

- 1) В большинстве случаев, когда приводятся значения растворимости водорода, не приводятся данные о температуре материала. А это бессмысленно – растворимость водорода весьма определенным образом зависит от температуры.
- 2) В п. 3 научной новизны и в выводах написано, что насыщение водородом до концентраций (0,023-0,061 масс. %) формирует дефекты дислокационного типа, плотность которых растет с ростом концентрации водорода в диапазоне  $(4-9) \cdot 10^{-8} \text{ см}^{-2}$ . Вероятно, возникла опечатка, и имелось в виду  $10^8$ .
- 3) В оформлении некоторых графиков (Рисунки 3, 5, 8а, 10) допущены ошибки, а именно: не везде видны погрешности экспериментальных измерений. Либо они малы (что должно быть указано в тексте), либо автор их не указал.

Несмотря на замечания, считаю, что диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК и п. 8 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, а ее автор, Бордулев Ю.С. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Согласен на обработку персональных данных.

Начальник отдела, д-р техн. наук,  
старший научный сотрудник

В.А. Маркелов

Акционерное общество "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара"

Адрес: 123098, Россия, г. Москва, ул. Рогова, д.5а

Телефон: (499) 190-89-99

E-mail: vniinm@rosatom.ru

Подпись Маркелова В.А. удостоверяю  
Заместитель генерального директора  
директор по развитию, канд. техн. наук

А.А. Перцев

✓ 20.02.2020