

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шевякова Александра Юрьевича  
**«Формирование и эволюция структурно-фазового состояния оксидных пленок сплавов циркония при коррозии во вне реакторных и реакторных условиях»**, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Для повышения энергоэффективности АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000/1200 необходимо обеспечение более жестких условий эксплуатации ТВС с увеличением доли пара в теплоносителе, глубины выгорания топлива и длительности топливных циклов. Поэтому изучение коррозионных процессов и повышение коррозионной стойкости циркониевых сплавов, в первую очередь для оболочек ТВЭЛов, является несомненно актуальной задачей.

В своей диссертационной работе Шевяков А.Ю. сконцентрировался на изучении микроструктуры оксидных плёнок сплавов Э110 системы Zr-Nb и Э635 системы Zr-Nb-Sn-Fe, существенно различающихся по стойкости к коррозии, особенно, под облучением. Для этого им впервые в отечественной практике разработаны и применены методы подготовки образцов и аналитической трансмиссионной электронной микроскопии в исследовании формирования и эволюции структурно-фазового состояния оксидных плёнок, образующихся на оболочках ТВЭЛов из сплавов Э110 и Э635 при автоклавных испытаниях и эксплуатации в реакторе.

К научным достижениям Шевякова А.Ю., главным образом, относится:

- определение кинетики изменения кристаллической структуры и элементного состава вторичных выделений в сплавах при формировании и росте оксидных пленок, характеризуемой аморфизацией частиц при переходе из металлической матрицы в оксид и их растворением в результате реакторного облучения с достижением определённой величины флюенса нейтронов;

- установление (для сплавов системы Zr-Nb-Sn-Fe) закономерностей влияния изменений кристаллической структуры и химического состава выделений фазы Лавеса при окислении на образование и развитие микропористости в оксидных пленках.

В работе показано, что нейтронное облучение не приводит к развитию микропористости и изменениям в морфологии зеренного строения оксидных пленок оболочек ТВЭЛов, в сравнении с необлученным состоянием, что

подтверждает превалирующее влияние содержания олова в составе сплавов системы Zr-Nb-Sn-Fe на ускорение их коррозии под облучением.

Практическая ценность работы заключается во внедрении в практику дореакторных и послереакторных исследований комплексных методик изучения структурно-фазового состояния тонких оксидных пленок для оценки сопротивления коррозии циркониевых материалов. На основании анализа результатов проведенных исследований даны рекомендации по использованию сплава Э110М в качестве материала оболочек твэлов, имеющего наилучшие характеристики по стойкости к коррозии и формоизменению. Кроме того, предложена оптимизация содержания олова в сплаве Э635 для повышения его коррозионной стойкости с сохранением высокого уровня прочностных характеристик и сопротивления радиационному формоизменению.

Полученные результаты для российских циркониевых сплавов согласуются с известными экспериментальными и теоретическими данными для зарубежных сплавов циркония.

Результаты диссертации опубликованы в 8-ми журналах из перечня ВАК и доложены на многочисленных международных и российских конференциях, что свидетельствует о достаточно широком апробировании работы и её обсуждению среди специалистов, включая зарубежных.

Вместе с тем, по автореферату имеются некоторые вопросы-замечания:

1) Разработанные методы подготовки и электронно-микроскопического анализа позволяют проводить детальные, послойные исследования оксидных пленок по всей их толщине, начиная от границы раздела «металл-оксид» и заканчивая внешней поверхностью. Однако, облучённые оксидные плёнки, в отличие от необлученных, изучены были только в их центральной части. Неясно, является ли это достаточным для корректных сопоставительных выводов;

2) В процессе окисления циркониевых сплавов образуются гидриды циркония. В работе показано, что имеющиеся в исследованных сплавах второфазные выделения ( $\beta$ -Nb, фаза Лавеса) переходят в изменённом виде из металлической матрицы в оксидную плёнку. С учётом известных фактов более высокого, чем в металле оболочек твэлов, содержания водорода в оксидных плёнках, остаётся не выявленным – в гидридах или в микротрещинах находится водород в составе оксидных плёнок.

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Основные положения работы Шевякова А.Ю. апробированы, полученные результаты являются новыми и имеют научную и практическую значимость, а логика рассуждений



автора не противоречит современным представлениям о природе процессов, происходящих при окислении циркониевых сплавов.

Как следует из содержания автореферата, диссертационная работа Шевякова А.Ю. удовлетворяет критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете "МИСиС", а её автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Кобылянский Геннадий Петрович  
доктор технических наук  
главный научный сотрудник  
АО «Государственный научный центр –  
Научно-исследовательский институт атомных реакторов»  
433510, Ульяновская область, г. Димитровград, Западное шоссе, д. 9  
+7(84235)73958  
[gpk@niiar.ru](mailto:gpk@niiar.ru)

Подпись д.т.н. Кобылянского Г.П. заверяю:

Ученый секретарь АО «Государственный  
научный центр – Научно-исследовательский  
институт атомных реакторов»



 Д.А Корнилов