

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Мальгина Андрея Геннадьевича  
**«Высокотемпературное окисление и охрупчивание сплава Zr-1%Nb в  
водяном паре»**, представленной на соискание учёной степени кандидата  
технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая  
обработка металлов и сплавов»

Диссертация Мальгина А.Г. посвящена изучению поведения сплава Zr-1%Nb в условиях высокотемпературного окисления в водяном паре применительно к проектной аварии с потерей теплоносителя (LOCA). В стандартном исполнении, изготавливаемый на основе электролитического циркония, сплав Zr-1%Nb подвержен проявлению линейного окисления, приводящего к чрезмерному его охрупчиванию, что вызывает опасения надзорных органов, особенно зарубежных, для применения его в качестве материала оболочки твэла. Поэтому выявление и устранение причин такого поведения сплава, что является целью данной работы, несомненно следует отнести к *актуальной* теме научного исследования с практической направленностью применения полученных результатов.

Работа сочетает в себе систематизацию ранее приведенных в научной литературе данных и полученных в настоящем исследовании собственных результатов, что свидетельствуют о научной квалификации соискателя.

Решение поставленных в диссертации задач, определило *научную новизну* работы. В частности, установлены различия в закономерностях окисления, поглощения водорода и охрупчивания в водяном паре при 1000 °С для сплавов Zr-1%Nb, изготовленных на разной циркониевой основе – по 100% электролитического, губчатого или иодидного циркония. Показано, что ключевой фактор раннего линейного окисления для сплава Zr-1%Nb это остаточная примесь фтора, попадающая в сплав из электролитического циркония.

Большой массив экспериментальных данных, полученных по развитой и верифицированной в работе методике ВТО, а также применение ряда стандартных методов исследований на современном оборудовании с использованием разработанных и аттестованных метрологами методик, свидетельствуют о *достоверности* результатов.

*Практическая ценность* полученных результатов заключается в их использовании для производства слитков и оболочечных труб из сплава Zr-1%Nb с содержанием примеси фтора менее 1 ppm в обеспечение стойкости в проектной аварии LOCA без проявления линейного разрушающего окисления.

Судя по 29 публикациям, из которых 10 в журналах из перечня ВАК, апробированием результатов работы на многих отечественных и зарубежных конференциях, соискателем был проделан большой объём исследований, выполненных на высоком научном уровне.

В то же время по автореферату можно отметить следующие *замечания*:

1. Не ясно, существует ли временной критерий для раннего и позднего перехода к линейной кинетике окисления при ВТО?
2. Нет обоснования для используемых (20 и 135 °C) температур проведения механических испытаний на сжатие кольцевых образцов после ВТО.
3. Нет чёткого объяснения, в чём заключается кардинальное отличие поведения кислорода при ВТО в других сплавах Zr, по сравнению с Zr-1%Nb?
4. На сколько структурные изменения оболочек при эксплуатации твэла, предшествующей нештатному режиму перегрева, могут повлиять на ход процесса ВТО?

Высказанные замечания не являются принципиальными, их можно отнести к техническим, и считать, что они имеют рекомендательный характер. В целом же автореферат написан четким и понятным языком, хорошо оформлен, что дополнительно создает положительное впечатление о выполненной работе.



Считаю, что диссертация полностью соответствует паспорту специальности и удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а её автор, Мальгин Андрей Геннадьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Главный научный сотрудник лаборатории механических свойств федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М. Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, Тел: +79826073578, e-mail: [al.v.kozlov@mail.ru](mailto:al.v.kozlov@mail.ru)), доктор технических наук (специальность 05.16.01 –Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov i spлавов).

Козлов Александр Владимирович



« 14 » января 2025 г.

Подпись  
заверяю  
Ученый секретарь ИФМ УрО РАН  
И.Ю. Арапова  
« 15 » января 2025 г.