

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Саблина Михаила Николаевича
«Влияние структуры и термдеформационной обработки на коррозию и радиационное
формоизменение направляющих каналов из сплава Э635», представленную на соискание
учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и
термическая обработка металлов и сплавов»

Циркониевый сплав Э635 (Zr-1%Nb-1,2%Sn-0,35 Fe) серийно используется для изготовления направляющих каналов и элементов силового каркаса в ТВС реакторов ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200. Возможно, что сплав Э635 будет использоваться в качестве конструкционного элемента и при разработке более мощных реакторов ВВЭР, так как по совокупности кратковременных и длительных механических свойств сплав Э635 не имеет аналогов как в России, так и за рубежом.

Повышение эксплуатационных характеристик реакторов ВВЭР (мощность установки, мощность эксплуатации, глубина и длительность выгорания топлива) приводят к ужесточению условий эксплуатации циркониевых изделий в составе тепловыделяющих сборок (ТВС), что может стать сдерживающим фактором в развитии реакторов данного типа.

Поэтому, выполнение работ по повышению эксплуатационных характеристик циркониевых комплектующих применительно к штатным и совершенствуемым реакторам ВВЭР представляется актуальным.

Диссертация Саблина М.Н. состоит из 5 глав и посвящена оценке влияния структурно-фазового состава и текстуры на коррозионную стойкость и стойкость к формоизменению направляющих каналов из сплава Э635.

В первой главе диссертационной работы достаточно подробно рассмотрены составы штатных и перспективных циркониевых сплавов. Показано, что система сплавов Zr-Nb-Sn-Fe, к которой относится сплав Э635, рассматривают как перспективную для создания новых сплавов. Рассмотрены факторы, определяющие стойкость циркониевых сплавов к радиационному росту и радиационной ползучести. Имеющиеся результаты исследований радиационного роста и радиационной ползучести получены применительно к условиям эксплуатации оболочек твэлов и не могут быть использованы для оптимизации характеристик направляющих каналов из-за различий в технологии изготовления, температуре испытаний и схеме нагружения направляющих каналов и оболочечных труб. Оценены факторы, влияющие на стойкость к коррозии циркониевых сплавов. Показано, что основными структурными факторами, оказывающими влияние на коррозию циркониевых сплавов, являются состав твердого раствора α -Zr и частицы второй фазы. В сплаве Э635 наблюдаются частицы интерметаллидов разных типов, которые отличаются по размеру и

составу. Данные по влиянию состава частиц интерметаллидов на коррозию сплава Э635 отсутствуют.

Во второй главе представлены составы и способы изготовления материалов, использованных для выполнения исследований. Описаны методики выполнения исследований структуры и свойств модельных плоских образцов и труб направляющих в исходном состоянии и после нейтронного облучения в реакторе БОР-60.

Третья глава диссертации посвящена оценке влияния структурно-фазового состава на коррозионную стойкость сплава Э635 и содержит новые интересные научные результаты, которые показывают, что повышение коррозионной стойкости сплава Э635 может быть достигнуто не только за счет уменьшения среднего размера и обеспечения равномерности распределения частиц фазы Лавеса, но и за счет исключения образования частиц Т-фазы в структуре изделий из этого сплава. Полученные результаты позволили разработать и внедрить в серийное производство усовершенствованный вариант изготовления труб НК из сплава Э635, обеспечивающий повышение стойкости труб к коррозии и ползучести. Факт внедрения подтвержден приложенным Актом об использовании результатов диссертационной работы (Акт АО ЧМЗ № 19-101/1222-Акт от 23.04.2025).

В четвертой главе представлены результаты по оценке влияния степени рекристаллизации на механические свойства, микроструктуру и характеристики стойкости к радиационному формоизменению труб НК из сплава Э635. В этой главе также получены новые научные результаты, которые показали, что увеличение степени рекристаллизации повышает стойкость сплава Э635 к радиационной ползучести при сжатии и растяжении, не оказывая при этом влияния на кратковременные механические свойства и структуру труб после нейтронного облучения.

В пятой главе выполнено исследование влияние текстуры на механические свойства, коррозию и стойкость к формоизменению труб НК из сплава Э635. После нейтронного облучения прочностные свойства труб из сплава Э635 с увеличением тангенциальной компоненты текстуры в продольном направлении увеличиваются, а в поперечном направлении уменьшаются. Пластичность сплава в продольном направлении практически не меняется, а в поперечном направлении увеличивается, независимо от структурного состояния сплава. Стойкость к термической и радиационной ползучести труб из сплава Э635 при сжатии повышается с увеличением тангенциальной компоненты текстуры с $f_t=0,36$ до $f_t=0,46$. Интересен новый научный результат, связанный с тем, что тангенциальная текстура ($f_t=0,46$) и радиальная ориентация гидридов ($F_n=0,95$) не оказывает влияния на коррозионную стойкость труб из сплава Э635. Данные результаты позволили обеспечить серийное производство направляющих каналов с гидротормозом для экспортных конструкций ТВС, что также подтверждено приложенным Актом об использовании результатов диссертационной работы (Акт АО ЧМЗ № 19-101/1222-Акт от 23.04.2025).

Основные результаты работы представлялись на одиннадцати научных конференциях, опубликованы в восьми журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ, оформлен патент (№ RU 2798022 C1).

Достоверность результатов работы обеспечена использованием современных методов исследований и прецизионного оборудования для измерений изменения размеров образцов.

Замечания к автореферату диссертационной работы следующие:

1. Не совсем понятно, на основании каких критериев были разработаны схемы изготовления модельных образцов для выполнения исследований.
2. Из какой части модельных образцов и труб изготавливались образцы для ПЭМ-исследований?

Замечания носят рекомендательный характер, диссертационная работа производит положительное впечатление, выполнена на высоком научном уровне, содержит большое количество экспериментальных результатов и имеет подтвержденное практическое применение.

В заключение хочу сказать, что диссертационная работа «Влияние структуры и термомеханической обработки на коррозию и радиационное формоизменение направляющих каналов из сплава Э635», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует паспорту специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор работы Саблин М.Н. достоин присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Начальник отдела моделирования технологий ядерного топлива
Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр
«Курчатовский институт»,
доктор физико-математических наук, профессор

В.В. Лиханский

Адрес: 123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д.1. дата

Телефон: + 7 (916) 537-76-93

Адрес электронной почты: Likhanskiy_VV@nrcki.ru

Подпись Лиханского В.В. заверяю:

Заместитель директора, главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»



О.А. Алексеева