

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Саблина Михаила Николаевича  
«Влияние структуры и термомеханической 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»

Развитие атомных реакторов типа ВВЭР сопровождается ужесточением условий эксплуатации (из-за повышения температуры и длительности эксплуатации) тепловыделяющих сборок (ТВС), что приводит к необходимости поиска путей улучшения эксплуатационных свойств их циркониевых комплектующих. Разработка новых конструкций ТВС требует постановки на производство новых номенклатур циркониевых комплектующих, конструкция которых становится все более и более сложной для серийного изготовления.

В таких условиях актуальной задачей является улучшение характеристик циркониевых комплектующих ТВС реакторов ВВЭР и обеспечение серийного производства новых номенклатур.

Сплав Э635 относится к системе Zr-Nb-Sn-Fe и характеризуется наличием в его структуре частиц интерметаллидов разного состава (L и T-фазы). Сплав Э635 серийно используется для изготовления направляющих каналов (НК) и элементов силового каркаса (центральные трубы, уголки каркаса и др.) ТВС реакторов ВВЭР. К направляющим каналам и элементам силового каркаса ТВС предъявляются достаточно жесткие требования по стойкости к формоизменению и стойкости к коррозии, что необходимо для обеспечения эффективного и безопасного управления реакторной установкой. Длительное время считалось, что повышение стойкости сплава к коррозии может быть достигнуто только за счет снижения содержания в нем олова. В частности, по такому пути пошли американские производители ядерного топлива, которые снизили содержание олова в сплаве Zirlo (близкого по составу к сплаву Э635).

Однако, как показала диссертационная работа Саблина М.Н., повышение стойкости сплава Э635 к коррозии может быть достигнуто не только за счет снижения содержания в нем олова (с соответствующим снижением прочностных свойств и стойкости к формоизменению), но и за счет оптимизации его фазового состава путем изменения режима термической обработки. Такой подход не только позволил повысить стойкость сплава к коррозии, но и сохранить его прочностные свойства и стойкость к формоизменению. Кроме того, эти рекомендации были реализованы в промышленных условиях и не потребовали корректировки деформационной схемы изготовления труб НК, а также использования новых технологических операций и новых единиц оборудования, что также должно быть отнесено к безусловным плюсам данной работы.

В настоящее время для изготовления НК сплав Э635 используется в частично-рекристаллизованном структурном состоянии. Ранее считалось, что степень рекристаллизации не оказывает значительного влияния на радиационные характеристики сплава. В диссертационной работе Саблина М.Н. показано, что повышение степени рекристаллизации также является эффективным приемом в повышении стойкости сплава к радиационной ползучести. К сожалению, влияния степени рекристаллизации на радиационный рост сплава Э635 выявлено не было. Полагаю, что это будет предметом дальнейших исследований.

Направляющие каналы с гидротормозом имеют специфическую конструкцию, которая характеризуется уменьшением внутреннего диаметра трубы. Разработанная схема изготовления

труб НК с гидротормозом не позволила обеспечить требования к коэффициенту ориентации гидридов, предъявляемые к штатным трубам НК. Результаты, представленные в диссертационной работе Саблина М.Н., позволили доказать, что трубы с такими характеристиками могут быть использованы в активной зоне реактора и позволили обеспечить серийное производство экспортных конструкций ТВС.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечена не только методами и оборудованием, использованным для исследований, а также воспроизводимостью лабораторных результатов в промышленных условиях.

Основные результаты диссертационной работы представлялись на одиннадцати российских и международных конференциях, опубликованы в восьми журналах из перечня, рекомендованных ВАК РФ, использованы для оформления патента (№ RU 2798022 C1).

В замечание к данной работе можно сказать, что все-таки работа по оценке влияния степени рекристаллизации на радиационный рост сплава Э635 должна быть продолжена. Также хотелось бы уточнить, могут ли представленные подходы к формированию структуры быть использованы для других циркониевых сплавов, содержащих железо (например, для сплава Э110М).

Общее впечатление от работы положительное, работа выполнена на высоком научном уровне, хорошо структурирована и грамотно изложена.

Диссертационная работа «Влияние структуры и термдеформационной 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, а ее автор Саблин М.Н. достоин присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Акционерное общество «Чепецкий механический завод» (АО ЧМЗ)

Адрес: 427622, Удмуртская республика,  
ул. Белова, д.7

Телефон: 8 (34141) 9 64 54

Адрес электронной почты:  
MGShtutsa@rosatom.ru

Подпись Штуцы М.Г. заверяю:

Начальник цеха №07

А.Г. Зиганшин

—  М.Г. Штуца



дата