

Вид ядерного топлива, в котором делящийся материал в виде мелких частиц из сплавов, интерметаллидов или соединений урана и плутония распределен по объему неделяющейся матрицы из конструкционного материала, получил название дисперсного ядерного топлива [1]. Использование дисперсного ядерного топлива в ядерных реакторах позволяет увеличивать теплосъём в активной зоне без изменения поверхности тепловыделяющих элементов, снизить термические нагрузки на топливо.

В качестве среды расчёта использовалась система автоматического проектирования «Solidworks». Основной метод расчёта в САПР «Solidworks» - метод конечных элементов, который заключается в разбиении области, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, на конечное количество подобластей. В каждой подобласти составляются системы алгебраических уравнений, которые в последствии решаются и соотносятся с аппроксимирующей функцией [2].

Для верификации построенной модели была создана геометрическая модель тепловыделяющей сборки, заданы характеристики конструкционных материалов и произведён расчёт с заданием граничных условий, характерных для ТВС реактора ВВЭР-1000. Результаты расчёта при использовании в качестве топлива диоксида урана и дисперсионного топлива с матрицей из силумина приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчёта

Характеристика	UO <sub>2</sub>	AlSi+UO <sub>2</sub>
Температура теплоносителя на входе в ТВС, °C	290	290
Температура теплоносителя на выходе из ТВС, °C	312	328,85
Максимальная температура топлива, °C	1342,85	1133,85
Градиент температур в топливной таблетке, °C/мм	164,6	69,89

Исходя из полученных значений, можно сделать вывод о том, что модель адекватна, так как расчёт с диоксидом урана близок к значениям, наблюдаемым при эксплуатации реактора ВВЭР-1000. Результат расчёта с дисперсным топливом указывает на то, что использование дисперсного топлива позволяет снизить термические нагрузки на топливо, а также увеличить теплосъём с тепловыделяющих элементов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическое материаловедение. Том 6. Часть 1. Конструкционные материалы ядерной техники. / Б.А. Калинин, П.А. Платонов, И.И. Чернов, Я.И. Штромбах. – М.: МИФИ, 2008. – 672
2. Балахов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. «Численные методы» - М.:СПб.: Лаборатория базовых знаний. 2002.- 342 с.
3. Физическое материаловедение. Том 6, часть 2. Ядерные топливные материалы /Ю.Г. Годин, А.В. Тенишев, В.В. Новиков. – М.: МИФИ, 2008. – 604 с;
4. Д.Н. Пузанов, А.А. Сатин. Анализ и обобщение данных по свойства циркониевых сплавов, применяющихся в качестве конструкционных материалов. Научно-техническая конференция молодых специалистов ОКБ «Гидропресс», Подольск, 16-17 марта, 2011

### СТОЙКОСТЬ ЛАЗЕРНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СПЛАВА Э110 К ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ОКИСЛЕНИЮ

Д.А. Ашихмин, М.Э. Фишер, Д.В. Сиделёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [daa39@tpu.ru](mailto:daa39@tpu.ru)

Циркониевые сплавы используются в качестве основного конструкционного материала тепловыделяющих сборок ядерных реакторов благодаря их высокой радиационной стойкости, стойкости к окислению при нормальных

условиях эксплуатации (360 °С, 18,6 МПа). Однако в условиях аварии возможен нагрев активной зоны реактора, ввиду чего может происходить окисление и последующее разрушение ответственных элементов, выполненных из Zr сплавов. Особое внимание следует уделить сварным соединениям, т.к. процесс их окисления проходит с большей скоростью [1]. Цель настоящей работы состоит в изучении стойкости к окислению лазерных швов.

Для защиты сварных соединений от окисления было выполнено осаждение Cr покрытий с помощью магнетронного распыления. Далее образцы были окислены на воздухе при температуре 1100 °С в течение 2, 10, 30, 45, 60 и 90 минут. На основе измеренных значений массы до и после окисления был определён коррозионный привес образцов, получены оптические изображения микроструктуры образцов после их окисления (рис. 1). Показано, что Cr покрытие значительно повышает стойкость лазерных сварных соединений из циркониевых сплавов к высокотемпературному окислению в течение не менее 60 минут.

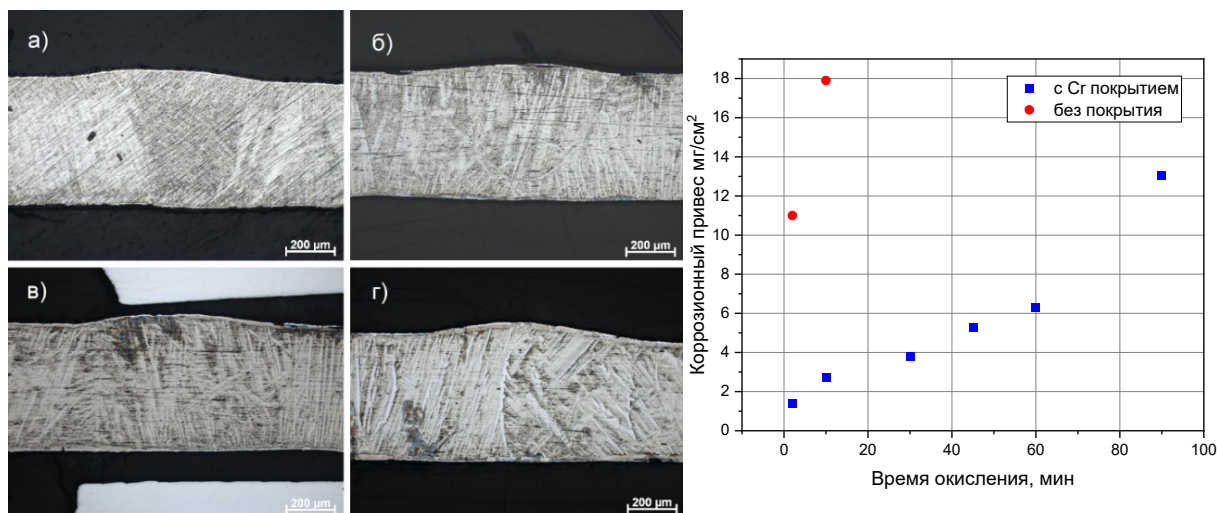


Рис. 1. (слева) Оптические изображения микроструктуры поперечного сечения лазерных швов с Cr покрытием после окисления в течение 30 (а), 45 (б), 60 (в) и 90 мин (г). (справа) Зависимость коррозионного привеса лазерных швов с Cr покрытием от времени их окисления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. V. Sidelev, E. B. Kashkarov, V. A. Grudin, M. G. Krinitsyn. High-temperature oxidation of Cr-coated laser beam welds made from E110 zirconium alloy // Corrosion Science. — 2022. — Vol. 195. — [110018, 9 p.].

#### ЗАЩИТНЫЕ ХРОМОВЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Д.В. Сиделёв<sup>1</sup>, И.А. Шелепов<sup>2</sup>, Н.С. Сабуров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup> АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»,

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

E-mail: [sidelevdv@tpu.ru](mailto:sidelevdv@tpu.ru)

Настоящая работа направлена на изучение защитного поведения циркониевых сплавов с хромовыми покрытиями в условиях, имитирующих нормальный и аварийный режимы эксплуатации ядерных реакторов. Рассмотрены две технологии осаждения Cr покрытий: высокоскоростная (скорость осаждения – 40...50 нм/с, плотность ионного тока на изделие – 3...5 мА/см<sup>2</sup>); мультикатодная (скорость осаждения – 3...5 нм/с, плотность ионного тока на изделие – 5...8 мА/см<sup>2</sup>).