Тарасов Борис Александрович. Закономерности взаимодействия топливо/матрица в дисперсных твэлах с высокоплотным топливом: диссертация ... кандидата физико-математических наук: 01.04.07 / Тарасов Борис Александрович;[Место защиты: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»].- Москва, 2015.- 114 с.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего

профессионального образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

На правах рукописи УДК 621.039.542.34

Тарасов Борис Александрович

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОПЛИВО/МАТРИЦА В

ДИСПЕРСНЫХ ТВЭЛАХ С ВЫСОКОПЛОТНЫМ ТОПЛИВОМ

Специальность 01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Автор

Научный руководитель профессор, кандидат технических наук Баранов Виталий Георгиевич

Москва

2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 4

ВВЕДЕНИЕ 5

Глава 1. Особенности взаимодействия металлического топлива с матрицей в дисперсных твэлах 9

1.1. Основные результаты реакторных испытаний дисперсного топлива

U-Mo/Al 13

1.2. Сравнение взаимодействия топливо-матрица в реакторных и внереакторных

экспериментах 20

1.2.1 Структура и строение слоя взаимодействия, возникающего при облучении 20

1.2.2. Строение слоя взаимодействия, полученного при диффузионных испытаниях.

22

1.3. Способы снижения взаимодействия топливо/матрица 23

1.3.1. Нанесение барьерных покрытий на топливные частицы 23

1.3.2. Легирование матричного сплава и/или топлива 25

1.3.2. Выбор других материалов топлива и матрицы 29

1.4. Диффузионные испытания как способ моделирования образования слоя

взаимодействия 29

1.4.1. Состав диффузионной зоны U-Mo/Al 35

1.4.2. Состав диффузионной зоны U-Mo/Al-сплавы 37

1.5. Напряженное состояния в диффузионной зоне при образовании слоя

взаимодействия 40

Глава 2. Анализ связи между образованием слоя взаимодействия и разрушением твэла 45

2.2 Кинетика роста слоя взаимодействия в реакторных испытаниях 46

2.2.1 Радиационно-стимулированная реакционная диффузия в системе U-Mo/Al 46

2.1. Определение напряженного состояния слоя взаимодействия 54

2.1.1. Основные уравнения 55

2.1.2 Уравнение состояния в случае внутренних напряжений, не вызывающих

деформации 56

2.1.3 Решение уравнения равновесия 57

2.1.4 Объемные изменения в случае отсутствия внешних напряжений 59

2.1.5 Условие непрерывности 61

2.1.6 Основные результаты 63

2.3 Оценка работоспособности дисперсного твэла 67

2.3.1 Определение количества газа, выходящего из топливной частицы 68

2.3.2 Напряжения, образуемые давлением ГПД 69

Влияние легирования бериллием алюминиевой матрицы на образование и рост слоя взаимодействия с U-Mo сплавами 77

3.1 Методика эксперимента 77

3.1.1 Выплавка сплавов 77

3.1.2 Проведение диффузионных отжигов 78

3.1.3 Методы исследования диффузионных пар 80

3.2 Экспериментальные результаты и их обсуждение 83

3.2.1 Кинетика взаимодействия U-Mo/Al-Be 83

3.2.2 Влияние распада y-U-Mo на рост слоя взаимодействия U-Мо/АІ-Ве 88

3.2.3 Влияние содержания бериллия на кинетику взаимодействия U-Mo/Al-Be 95

3.2.4 Влияние легирования алюминия кремнием или бериллием на фазовый состав

слоя взаимодействия 98

3.2.5 Влияние содержания молибдена на кинетику взаимодействия U-Mo/Al-Be ....101

3.2.6 Некоторые физические и механические свойства сплавов Al-Be в сравнении со

сплавами Al-Si 103

ВЫВОДЫ 108

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 109

**ВЫВОДЫ**

1. Показано, что основной причиной, приводящей к разрушению дисперсных твэлов с уран-молибденовым топливом и алюминиевой матрицей является физико­химическое взаимодействие, при этом установлено, что основным превалирующим фактором, определяющим максимальное выгорание твэла до разрушения является величина максимальной температуры. Анализ путей и способов по снижению вза­имодействия показал, что наиболее целесообразным является легирование матери­ала топливной гранулы и матрицы, а для увеличения максимального выгорания твэла необходимо не только снизить скорость взаимодействия топлива с матрицей, но и сохранить теплопроводность последней на высоком уровне.
2. На основании анализа физико-химических свойств элементов-аналогов кремния сделано предположение, что наиболее целесообразным способом снижения взаи­модействия топливо/матрица может являться легирование матрицы бериллием. Анализ и сравнение результатов послереакторных исследований облученных твэ- лов и результатов внереакторных диффузионных испытаний позволил обосновать возможность моделирования процессов взаимодействия топливо/матрица во внере­акторных условиях.
3. На основании созданных моделей предложен механизм разрушения твэла под дей­ствием ГПД, выделяющихся из топливной частицы на границу топливо/матрица. Впервые объяснено накопление продуктов деления на границе топливо/матрица по механизму диффузии в поле напряжений. На основании расчетов показано, что для обеспечения максимального выгорания в дисперсном топливе U-Mo/сплав Al необ­ходимо увеличение размеров топливных частиц до 200 - 250 мкм и снижение мак­симальной температуры твэла до 100 °С путем повышения теплопроводности мат­рицы.
4. Диффузионные испытания сплавов уран-молибден с алюминий-бериллиевыми сплавами показали, что легирование алюминия бериллием в количестве 2-8 мас.% приводит к значительному снижению скорости роста слоя взаимодействия в обла­сти температур 450 - 600 °С, а при температурах меньше 400 °С взаимодействие U-Mo топлива с Al-Be матрицей отсутствует.
5. Полученные величины температуропроводности и прочности алюминий- бериллиевых сплавов показали их перспективность по сравнению с применяемыми силуминами. Использование Al-Be сплавов позволит не только снизить скорость взаимодействия, но и понизить максимальную температуру твэла.