# Конспект занятия 16.

## Цель.

Рассмотреть причины создания реакторного стенда для исследования свойств ядерного топлива при динамическом воздействии реакторного излучения. Познакомить слушателей с реакторным стендом ИРТ-МИФИ для исследования физико-механических свойств ядерного топлива и комплексом задач решаемых на стенде. Рассмотреть схему измерений стенда. Обратить внимание на возможность проведения комплексных исследований нескольких свойств на одном образце.

## План.

1. Причины создания реакторного стенда для исследования свойств ядерного топлива при динамическом воздействии реакторного излучения.

2. Реакторным стендом ИРТ-МИФИ для исследования физико-механических свойств ядерного топлива.

3. Схема измерений стенда.

4. Комплексное исследование ряда свойств на одном образце.

В конце шестидесятых годов при разработке твэлов для реакторов на быстрых нейтронах остро встали проблемы изучения выхода газообразных продуктов деления и механического взаимодействия распухающего топлива и оболочки (ВТО), ограничивающих достижение экономически приемлемых выгораний. Несколько позднее, в связи с повышением параметров эксплуатации и увеличением кампании, это стало актуальным и для твэлов ВВЭР. Напряжения на оболочке при ВТО в стационарных условиях эксплуатации определяются ползучестью, а в переходных – комплексом механических свойств топлива, деформируемого в режимах с постоянной скоростью и релаксации напряжений. В начале восьмидесятых годов из- за участившихся случаев потери устойчивости оболочек твэлов водо-водяных реакторов, причиной которого стало увеличение зазора, возникла необходимость изучения размерных изменений сердечника при облучении вследствие радиационного доспекания топлива. Примерно в такой же хронологии развивались работы по созданию реакторного стенда для исследования перечисленных выше свойств оксидного ядерного топлива.

Под реакторным стендом понимается комплекс экспериментальных установок, включающих в себя исследовательский ядерный реактор. В нашем случае комплекс экспериментальных установок приспособлен для проведения активных реакторных испытаний и аналогичных экспериментальных исследований вне поля реакторного излучения.

Облучательные устройства, разработанные на кафедре18 МИФИ и внедренные в практику НИР на ИРТ-МИФИ, использованы как прототипы при создании реакторных стендов на реакторах ВВР-СМ (Узбекистан г.Улукбек) и ИВВ-2 (Свердловская обл.

г. Заречный) .

Экспериментальные возможности ИРТ-МИФИ позволили впервые провести исследование механических свойств топлива, влияния на газовыделение пластической деформации диоксида урана при высоких температурах, исследовать динамику радиационной аморфизации силицида урана и её влияние на пластические свойства, обосновать разработку оксидного топлива с низким сопротивлением деформированию, получить рекомендации для обоснования работоспособности и лицензирования твэлов энергетических реакторов.

Возможности стенда в основном ограничены максимальными и минимальными значениями температуры, при которых надёжно работают конкретные облучательные устройства. Этот температурный интервал составляет 50 – 2000 0С. Экспериментальные возможности стенда рассмотрены на обобщенной схеме рис.1, где представлены основные параметры, регистрируемые измерительными системами стенда.

Объект исследования – образец (2) размещается в облучательном устройстве (1) в потоке газа-носителя (8). Образовавшиеся в результате взаимодействия объекта исследования с излучением газообразные (летучие) продукты деления (ГПД) транспортируются к внешним системам стенда, которые методами γ – спектрометрии способны определить их концентрацию в потоке (13). Естественно, что параметры самого потока (массовый расход, геометрия трактов и др.) так же фиксируются в эксперименте. Частный случай представляют устройства, где газ-носитель не движется (устройство заполнено газом) или газ-носитель отсутствует (устройство вакуумировано).

Поток излучения (3) может определяться мониторированием, если эксперимент предполагается вести при стационарной мощности реактора, или непрерывно регистрироваться первичными датчиками потока излучения в случае, если программа эксперимента предусматривает нестационарные режимы облучения объекта испытаний.

Содержание

ГПД в газе

**13**

Поток газа

носителя

**7**

Электрический

ток

**8**

Нагреватель

**9**

**1**

Разность

потенциалов

**10**

Текущее

время

эксперимента

**12**

Акустическая

эмиссия

**11**

Потоки

излучений

**3**

Температура

**4**

Деформация

**5**

Механическая

нагрузка

**6**

**2**

Рис.1. Схема измерений.

Реакторный стенд **1**

Реактор ИРТ-МИФИ **2**

Система измерения физических величин **3**

Информационно-

измерительная система **4**

Система обеспечения

эксперимента **5**

Время испытаний:

- таймер ЭВМ

-развертка самописца

-частотомер **7**

Акустическая эмиссия (АЭ) :

- АЭ регистратор с амплитудным и частотным анализатором.

- система связи с ЭВМ. **8**

Электрофизические свойства, термопары, тензорезисторы:

-самопишущие мосты и потенциометры

- цифровые ампервольтметры

- связь с ЭВМ. **9**

Механическая нагрузка (УЗ колебания), давление газа-носителя (заполнителя):

- нагружающая система- манометры

-расходомеры,перепадометры. **10**

Поток излучения, концентрация ГПД :

- термонейтронные датчики.

- γ- мониторы и спектрометры с полупроводниковым датчиком и амплитудным анализатором. **11**

Деформация: преобразователь индуктивный, радиационнотермостойкий (ПИРТ) со спецблоком и аналоговой и цифровой записью. **12**

Обработка

экспери-метальных

резуль-татов **6**

Температура испытаний:

- нагрев: собственные тепловыделения, нагреватель.

- охлаждение: теплоноситель

реактора, газ-заполнитель, вакуум. **20**

Среда испытаний:

- система очистки газа-насителя (заполнителя)

- система вакуумирования **21**

Транспортные операции:

-смена образца,

- смена установки. **22**

Экспериментальные установки **13**

Лабораторные

установки **14**

Облучательные

устройства **15**

Специальные **16**

Аналоги **17**

Со сменой

образца **18**

Без смены образца **19**

Рис. 2. Взаимосвязи систем и устройства реакторного стенда.

Измерение температуры (4) объекта испытаний является обязательной при проведении активных реакторных испытаний.

Реализация позиций (3,4,12,13) в соответствующем облучательном устройстве и его системах измерения и обеспечения эксперимента позволяет исследовать одну из важнейших характеристик ядерного топлива- выход газообразных продуктов деления в процессе облучения [17].

Рассмотрим системы, содержащие следующие комбинации позиций схемы: (3,4,5,12) и (3,4,5,7,12,13). Первая комбинация предполагает изучение размерной нестабильности объекта испытаний под воздействием излучения и температуры [18]. Эта характеристика крайне необходима при разработке элементов активных зон ядерных энергетических установок. Размерной нестабильностью под воздействием излучения помимо ядерного топлива обладают значительно более широкий класс материалов, эта характеристика важна и для них.

Вторая комбинация позиций представляет значительный интерес при исследовании топливных композиций. Изучение в одном эксперименте размерной нестабильности и газовыделения позволяет оценить вклад газового распухания в процессе размерной нестабильности, понять физику изучаемого процесса.

Сочетание позиций (3,4,5,6,12) и (3,4,5,6,7,12,13) позволяет определять механические свойства испытуемого образца. В первом случае в процессе облучения исследуются характеристики ползучести, пределы пропорциональности, текучести, напряжение течения, характеристики релаксации напряжений [19]. Во втором случае появляется возможность дополнить изучение механических свойств , определение их влияния на процесс газовыделения [20].

Анализ сигналов акустической эмиссии в сочетании позиций (3,4,5,6,7,11,12,13) позволяет определять радиационный коэффициент диффузии кислорода в диоксиде урана [21], внутренние напряжения в облучаемом образце [22] и температуру хрупко-пластического перехода в диоксиде урана [23]. В этих исследованиях появление сигналов дискретной акустической эмиссии является указателем (индикатором) смены механизмов поведения микро- и макродефектов в испытуемом образце при внешних воздействиях. Можно предположить, что более глубокий амплитудный и частотный анализ акустической эмиссии во времени позволит исследовать и другие явления.

В целом, представленные выше возможности реакторного стенда, по-видимому, не исчерпаны. В таб. 3 представлены характеристики устройств стенда.

В восьмидесятые годы прошлого века на ИРТ-МИФИ выполнялась программа сотрудничества с Францией по исследованию пластических свойств ядерного топлива в радиационных условиях. Эксперименты по исследованию высокотемпературной ползучести в инициативном плане сопровождались регистрацией газов-продуктов деления (ГПД). На образцах технологии DCI, обладающих повышенной пластичностью и низкими значениями выходов ГПД, были получены нетривиальные результаты. При малых установившихся скоростях деформации ползучести выход ГПД был ниже стационарного выхода при отсутствии деформации и превышал его при больших скоростях.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №№  пп | Наименование  установки | Измеряемые характеристики | Температурный  интервал |
|  |  | *Облучательные устройства* |  |
| 1 | Каприз | Пластические свойства при сжатии,  выход ГПД. | Менее 2300 К |
| 2 | Ритм | Пластические свойства при сжатии,  акустическая эмиссия. | Менее 2300 К |
| 3 | Сатурн | Пластические свойства при сжатии  в нестационарных условиях. | Менее 2300 К |
| 4 | Крип | Пластические свойства при сжатии. | Менее 2300 К |
| 5 | Циклон | Пластические свойства при реверсивном изгибе. | Менее 2300 К |
| 6 | Раст | Пластические свойства при сжатии. | Менее 1300 К |
| 7 | Пост | Формоизменение при облучении. | Менее 1300 К |
| 8 | Пост-Урал | . Формоизменение при облучении | Менее 1300 К |
| 9 | Раст-Урал | Пластические свойства при сжатии. | Менее 1300 К |
|  |  | *Лабораторные аналоги облучательных устройств.* |  |
| 10 | Плутон | Пластические свойства при сжатии,  смешанное топливо. | Менее 2300 К |
| 11 | Крип | Пластические свойства при сжатии. | Менее 2300 К |
|  |  | *Лабораторные установки.* |  |
| 12 | ИС (испытатель-ный стенд) | Пластические свойства и акустическая эмиссия  при реверсивном изгибе. | Менее 1800 К |

Таб. 3