



УКРАЇНА

(19) UA (11) 64305 (13) U
(51) МПК (2011.01)
G01T 1/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ГІДРУВАННЯ ОБОЛОНОК ТВЕЛІВ З ЦИРКОНІЮ І ЙОГО СПЛАВІВ

1

2

(21) u201102387

(22) 28.02.2011

(24) 10.11.2011

(46) 10.11.2011, Бюл.№ 21, 2011 р.

(72) ПОНОМАРЕНКО ПАВЛО АФІНОГЕНОВИЧ,
ТЯПКІНА ВАЛЕНТИНА ОЛЕКСАНДРІВНА, ФРО-
ЛОВА МАРІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА, ТАБОРОВСЬКА
ОЛЕНА ПАВЛІВНА(73) СЕВАСТОПОЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ПРОМИС-
ЛОВОСТІ(57) Спосіб гідрування оболонок твेलів з цирконію
і його сплавів, який **відрізняється** тим, що вклю-
чає комплекс нейтронно-ядерних реакцій в полі
нейтронів поділу в активній зоні водоводяного
ядерного реактора на теплових нейтронах з діок-
сидом урану як ядерним паливом і полягає у гене-

рації протонів (${}^1_1\text{H}$) високих енергій в реакціях ней-
тронів поділу з ядрами ізотопів кисню в паливі і
проникненні їх в цирконієву оболонку твелів з боку
палива, у генерації протонів (${}^1_1\text{H}$) у реакціях нейт-
ронів поділу з ядрами ізотопів цирконію всередині
оболонки твелів, у генерації протонів (${}^1_1\text{H}$) високих
енергій в реакціях нейтронів поділу з ядрами ізо-
топів кисню у воді і проникненні їх в цирконієву
оболонку твелів з боку теплоносія-сповільнювача
та у генерації високоенергетичних протонів віддачі
(${}^1_1\text{H}$) при уповільненні нейтронів поділу в зіткну-
ннях з молекулами води і проникненні їх в цирконіє-
ву оболонку з боку теплоносія-сповільнювача.

Корисна модель належить до галузі атомної
енергетики і розглядає гідрування оболонок твелів
ВВЕР на теплових нейтронах, виготовлених з цир-
конію і його сплавів.

Відомо, що під дією нейтронного випроміню-
вання в цирконії і в його сплавах збільшуються
межі міцності і текучості, але зменшується межа
пластичності. Зниження межі пластичності через
розпухання паливної композиції приводить до роз-
тріскування оболонок твелів [1, 2].

Проведені дослідження показали, що причи-
ною розтріскування оболонок твелів ВВЕР на теп-
лових нейтронах, виготовлених з цирконію і його
сплавів, було сповільнене гідридне розтріскування
цих оболонок, що залежить від вмісту водню в
кристалічній решітці металу оболонок і концентра-
ції напруги у виробі, що знижує довговічність робо-
ти оболонок твелів за їх основним призначенням.

Відомо спосіб введення атомів водню в кри-
сталічну решітку металів і їх сплавів, що полягає в
тому, що це введення водню відбувається за ра-
хунок його хімічного виділення і поглинання в про-
цесі корозії, а також за рахунок термодифузії віль-
них атомів водню на межі кристал - вода [3].

Проте, вказаний спосіб, особливо термодифу-
зійний, відбувається при температурі цирконію

вище 700 °С. Хоча таких температур в активній
зоні реакторів типу ВВЕР немає, проте, в процесі
експлуатації твелів в ядерній енергетичній устано-
вці їх оболонки наводнюються, що експеримента-
льно підтверджено експериментально-
аналітичними дослідженнями зразків оболонок
твелів на дослідницькому ядерному реакторі ДР-
100.

Задача корисної моделі полягає в розробці
способу гідрування оболонок твелів з цирконію і
його сплавів, що, дозволить розробити заходи з
усунення окремих технологічних процесів твелів,
що негативно впливають на загальну довговічність
оболонок, виготовлених з цирконію і його сплавів.

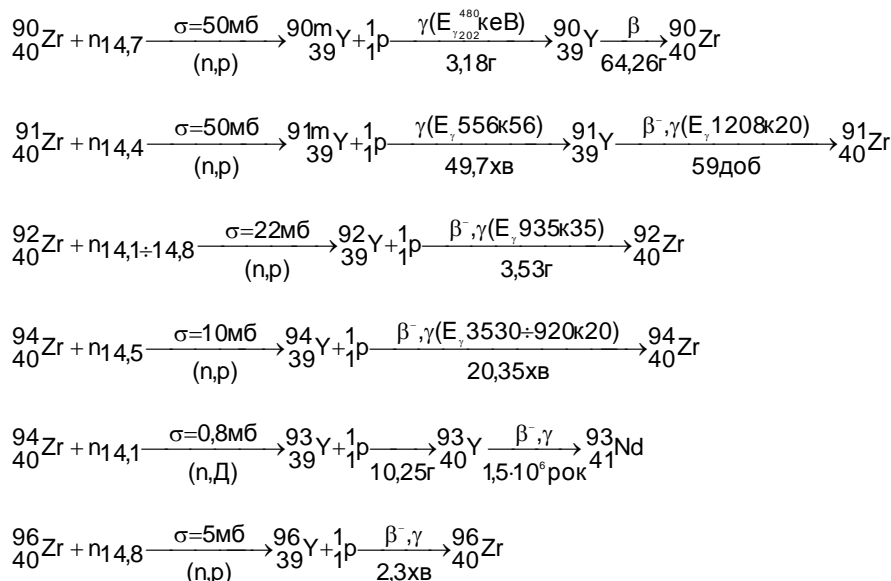
Поставлена задача вирішується завдяки ком-
плексу нейтронно-ядерних реакцій в полі нейтро-
нів поділу в активній зоні водоводяного ядерного
реактора на теплових нейтронах з діоксидом ура-
ну як ядерне паливо.

За результатами проведених на дослідниць-
кому реакторі ДР-100 експериментальних дослі-
джень було встановлено:

1. Гідрування цирконію і його ізотопів в ядер-
ному реакторі відбувається в результаті взаємодії
ядер металу з нейтронами високих енергій

(19) UA (11) 64305 (13) U

($E \geq 14 \text{ MeV}$), відповідно до наступних рівнянь реакцій [4]:

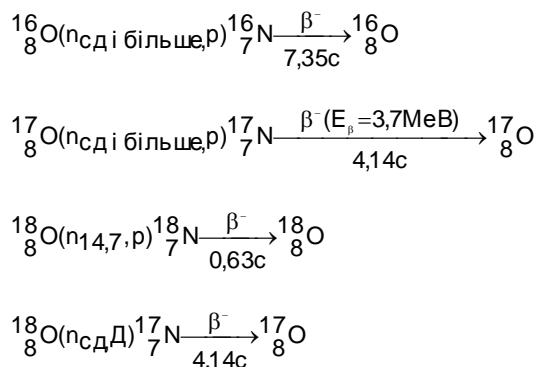


Протон являє собою ядро водню, при народженні має певну енергію і може створювати вакансії і дислокації в кристалічній решітці основного металу. Крім того, іонізуючи атоми цирконію, він втрачає свою енергію, зупиняється і, приєднавши до себе один з вільних електронів, перетворюється на атом водню.

Тобто, при товщині оболонки з цирконію і його сплавів $d \geq 0,65 \text{ мм}$ [5], виниклі в результаті ядерної взаємодії протони, зважаючи на їх низьку проникність, залишаються в оболонці твела й утворюють в ній атоми водню.

Пропонований спосіб є внутрішнім гідруванням цирконію.

2. Гідрування цирконію з боку палива. Паливна композиція складається з оксиду урану, а природний кисень складається з трьох ізотопів (^{16}O -99,76 %; ^{17}O -0,037 %; ^{18}O -0,204 %). При взаємодії ядер кисню з нейтронами спектру поділу ($E_{0n} = 0,1 \div 18 \text{ MeV}$) в результаті ядерних реакцій утворюються протони



Якщо утворені протони виникають на межі паливо-оболонка і потрапляють в оболонку, вони мають проникність від декількох мікрон до десятків

мікрон. У результаті втрати енергії в кристалічній решітці цирконію або в захисній окисній плівці, вони зупиняються і, приєднуючи до себе по одному з вільних електронів, перетворюються на атоми водню.

3. Аналогічні реакції ядер ізотопів кисню спостерігаються і у воді, тому гідрування оболонок йде не тільки з боку палива, але і з боку теплоносія.

4. Утворення протонів в теплоносії може відбуватися не тільки в результаті ядерної взаємодії ізотопів кисню з нейтронами високих енергій, але і в результаті пружного зіткнення нейтронів з ядрами водню. У цьому випадку утворюються високоенергетичні протони віддачі, значення енергії яких описується формулою

$$E_p \approx E_{0n}(1 - E^{-\xi})$$

де E_{0n} - початкова енергія нейтрона до зіткнення (для нейтронів спектру поділу $E_{0n} = 0,1 \div 18 \text{ MeV}$);

ξ - середній логарифмічний декремент утрати енергії нейтроном при одному зіткненні в розсіювальному середовищі.

Відповідно до середнього логарифмічного декремента втрати енергії при одному зіткненні нейтрона з ядром водню ($\xi = 0,948$) [6] і з майже ізотропним розсіюванням нейтронів при цих зіткненнях ($\cos \varphi = 0,324$) [6], енергія генерованих протонів віддачі складе від 11 до 0,06 MeV.

Якщо це відбулося на межі вода - цирконій, частина протонів з такою енергією проникає з межі вода-оболонка всередину окисної плівки і навіть в оболонку не тільки за рахунок термодифузії, але і за рахунок високої їх проникності, пов'язаної з високою кінетичною енергією. Тут, втрачаючи енергію шляхом взаємодії з ядрами металу оболонки, протони зупиняються і, приєднуючи один з безлічі

вільних електронів металу, перетворюються на атоми водню всередині кристалічної решітки металу оболонки.

При зіткненні нейтрона з ядром водню відбувається передача енергії від нейтрона ядру водню, відповідно до середнього логарифмічного декременту втрати енергії при одному акті розсіювання нейтронів в розсіювальному середовищі:

$$\xi = \ln \frac{E_1}{E_2}$$

$$E_2 = E_1 e^{-\xi}$$

E_1 , і E_2 - значення енергії нейтрона до і після зіткнення з атомом розсіювального середовища.

Величину лінійного пробігу в речовині протона з енергією E_p можна визначити за умови рівності масових пробігів частинок з однаковим зарядом і з різною масою [7].

Наприклад, при зіткненні молекули води з нейтроном, що має енергію $E_1 = 10$ MeV, лінійний пробіг нейтрона віддачі в цирконії складе $R_{pZr} = 94$ мікрон.

Таким чином, максимальна довжина проникнення протона, що утворився на межі вода-метал при зіткненні молекули води з нейтроном, що має енергію 10 MeV, складає для цирконію 94 мікрон.

Наданий в описі спосіб гідрування оболонок твелів ВВЕР на теплових нейтронах, виготовлених з цирконію і його сплавів, дозволить розробити

заходи з усунення окремих технологічних процесів твелів, що негативно впливають на загальну довговічність оболонок, виготовлених з цирконію і його сплавів.

Джерела інформації:

1. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Справочник / В.С. Чиркин. - М.: Атомиздат, 1968. - 484 с.

2. Влияние облучения на материалы и элементы электронных схем. Перевод с английского. / Под ред. В.Н. Быкова и С.П. Соловьева. - М.: Атомиздат, 1967. - 427 с.

3. Некрасова Г.А. Цирконий в атомной промышленности. Выпуск 14. Опыт эксплуатации кабельных труб в реакторах CANDU: Обзор. - М.: ЦНИИАтоминформ, 1985. - 36 с.

4. Справочные таблицы для нейтроноактивационного анализа. / И.В. Меднис. Рига: Знание, 1974. - 412 с.

5. Эксплуатационные режимы водоводяных энергетических ядерных реакторов / Ф.Я. Овчинников, П.И. Голубев, В.Д. Добрынин, В.И. Клочков, В.В. Семенов, В.М. Цыбенко. - М.: Атомиздат, 1977. - 280 с.

6. Гордеев И.В. Ядерно-физические константы. Справочник / И.В. Гордеев, Д.А. Кардашев, А.В. Малышев. - М.: Госатомиздат, 1963. - 507 с.

7. Левин В.Е. Измерение ядерных излучений / В.Е. Левин, Л.П. Хамьянов / М.: Атомиздат, 1969 - 223 с.