



УКРАЇНА

(19) UA (11) 69082 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G21C 21/00  
G21C 7/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОГЛИНАЮЧОГО СТЕРЖНЕВОГО ЕЛЕМЕНТА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

1

(21) 20031210895

(22) 01.12.2003

(24) 11.03.2008

(72) БЕЛАШ МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ, UA

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР  
"ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ",  
UA

(56)

(57) 1. Спосіб виготовлення поглинаючого стержневого елемента ядерного реактора, який включає формування обхоплюючої ділянки на стаканоподібній кінцевій деталі, формування обхопленої ділянки на гафнієвому стержні у вигляді кільцевих поперемінних виступів та канавок, з'єднання зварюванням кінцевої деталі з боку обхоплюючої ділянки із стержнем, а з боку днища - з оболонкою, заповненою нейтронопоглинаючим матеріалом, який **відрізняється** тим, що на зовнішній бічній поверхні обхоплюючої ділянки кінцевої деталі формують ділянку з поперемінних кільцевих виступів та канавок із кроком, який дорівнює кроку

2

поперемінних канавок та виступів на гафнієвому стержні, стержень розміщують у кінцевій деталі так, щоб його кільцеві канавки були розташовані напроти кільцевих виступів кінцевої деталі, причому кільцеві канавки на гафнієвому стержні створюють глибиною, більшою за половину товщини оболонки, а обхоплюючу ділянку кінцевої деталі та обхоплену ділянку стержня створюють такими, щоб виконувалась умова:

$$4S_{об}/\pi d^2 \leq (D_k^2 - D_{вн}^2)/d^2 \leq k\sigma_{ст}/\sigma_{об},$$

де  $S_{об}$  - площа поперечного перерізу оболонки,  $d$  -

діаметр канавки на стержні,  $D_k$  - діаметр канавки на кінцевій деталі,  $D_{вн}$  - внутрішній діаметр кінцевої деталі,  $k=(1,0...2,8)$ ,  $\sigma_{ст}$  і  $\sigma_{об}$  - значення границі міцності відповідно матеріалів стержня та оболонки.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що з'єднання кінцевої деталі із стержнем здійснюють шляхом розплавлення кінцевої деталі у місцях виступів.

Винахід має відношення до ядерної техніки, а саме до конструкцій систем керування ядерних реакторів, призначених для компенсації надлишкової реактивності, регулювання реактивності в процесі роботи ядерного реактора в стаціонарному та перехідному режимах.

Відомий спосіб виготовлення поглинаючого стержневого елемента (ПЕЛ) ядерного реактора, який включає формування обхоплених ділянок на кінцевій деталі, з'єднання однієї з обхоплених ділянок кінцевої деталі з оболонкою, що заповнена нейтронопоглинаючим матеріалом, а другої з обхоплених ділянок кінцевої деталі з елементом із гафнію (Пономаренко В.Б., Пославский А.О., Чернышев В.М. и др. Орган регулирования и СВГ ядерных реакторов ВВЭР-1000 и пути их усовершенствования // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 1994, вып. 2(62), с.105-107) [1]. У цьому способі для з'єднання стержня з гафнію із кінцевою деталлю на кожній з

них створюють нарізку, з'єднують за допомогою нарізки стержень із кінцевою деталлю та додатково фіксують з'єднання діаметральною заклепкою.

Треба відзначити, що під час експлуатації ПЕЛ зазнає високих осьових та вібраційних навантажень, які можуть спричинити до руйнування нарізного з'єднання та привести до відділення частин стержня. Тому надійність експлуатації ПЕЛ, виготовлених за таким способом, є низькою.

Відомий спосіб виготовлення поглинаючого стержневого елемента ядерного реактора, обраний як прототип (Патент України на корисну модель №738, МПК G21C7/10, 2001) [2]. Спосіб включає формування обхоплюючої ділянки на стаканоподібній кінцевій деталі, формування обхопленої ділянки на гафнієвому стержні, з'єднання зварюванням кінцевої деталі зі сторони обхоплюючої ділянки із стержнем, а зі сторони днища - з оболонкою, заповненою

(13) C2

(11) 69082

(19) UA

нейтронопоглинаючим матеріалом. На гафнієвому стержні обхоплену ділянку формують у вигляді кільцевих поперемінних виступів та канавок.

Формування згаданих виступів та канавок на гафнієвому стержні дозволяє при нагріванні кінцевої деталі збільшити площину зіткнення з'єднаних елементів, а також виключає осьове зміщення частин стержневого елемента навіть після утворення тріщини у нерознімному з'єднанні. Це веде до підвищення надійності експлуатації ПЕЛ.

Проте, внаслідок частих теплових змін та дії корозії з боку теплоносія при тривалій експлуатації поглинаючого елемента в реакторі відбувається втрата міцності з'єднання гафнієвого стержня з кінцевою деталлю, що може привести до його руйнування. Для збереження працездатності ПЕЛ необхідно мати достатній запас міцності даного з'єднання.

Для створення міцного з'єднання гафнієвого стержня з кінцевою деталлю між поверхнями розділу обхоплюючої та обхопленої ділянок необхідно нагрівати матеріал кінцевої деталі так, щоб він не лише заповняв канавки на ділянці гафнієвого стержня, але й вступав у взаємодію з гафнієм на задану глибину. У даному способі для цього кінцеву деталь нагрівають до температури, вищої за температуру плавлення матеріалу, з якого вона виготовлена. При нагріванні кінцевої деталі на границі її контакту з гафнієвим стержнем за рахунок значної теплопередачі досить легко створюються умови, коли значення температури перевищують температуру створення евтектики між нержавіючою сталлю та гафнієм, що приводить до руйнування даного з'єднання. Це обмежує діапазон режимів виготовлення з'єднання та не дозволяє забезпечити необхідний запас міцності, що знижує надійність тривалої експлуатації ПЕЛ.

В основу винаходу поставлено завдання створити такий спосіб виготовлення поглинаючого стержневого елемента, який у порівнянні із способом, обраним як прототип, забезпечував би більш високу надійність експлуатації ПЕЛ.

Поставлене завдання вирішується у способі виготовлення поглинаючого стержневого елемента ядерного реактора, який включає формування обхоплюючої ділянки на стаканоподібній кінцевій деталі, формування обхопленої ділянки на гафнієвому стержні у вигляді кільцевих поперемінних виступів та канавок, з'єднання зварюванням кінцевої деталі зі сторони обхоплюючої ділянки із стержнем, а зі сторони днища з оболонкою, заповненою нейтронопоглинаючим матеріалом. Згідно з винаходом на зовнішній бічній поверхні обхоплюючої ділянки кінцевої деталі формують ділянку з поперемінних кільцевих виступів та канавок із кроком, який дорівнює кроку поперемінних канавок та виступів на гафнієвому стержні, стержень розміщують у кінцевій деталі так, щоб його кільцеві канавки були розташовані напроти кільцевих виступів кінцевої деталі, причому кільцеві канавки на гафнієвому стержні створюють глибиною більше половини товщини

оболонки, а обхоплюючу ділянку кінцевої деталі та обхоплену ділянку стержня створюють такими, щоб виконувалась умова:

$$4S_{об}/\pi d^2 \leq (D_k^2 - D_{вн}^2) d^2 \leq \kappa \sigma_{ст} / \sigma_{об} \quad (1)$$

де  $S_{об}$  - площа поперечного перерізу оболонки,

$d$  - діаметр канавки на стержні,

$D_k$  - діаметр канавки на кінцевій деталі,

$D_{вн}$  - внутрішній діаметр кінцевої деталі,

$\kappa = (1,0 \dots 2,8)$ ,

$\sigma_{ст}$  і  $\sigma_{об}$  - значення границі міцності відповідно матеріалів стержня та оболонки.

Формування на гафнієвому стержні обхопленої ділянки у вигляді поперемінних кільцевих виступів та канавок дозволяє збільшувати площину зіткнення з'єднаних ділянок, що надалі, при створенні нерознімного з'єднання, забезпечує більший запас його міцності та надійність експлуатації ПЕЛ.

Формування на зовнішній бічній поверхні стаканоподібної кінцевої деталі ділянки у вигляді поперемінних кільцевих виступів та канавок із кроком, який дорівнює кроку поперемінних канавок та виступів на гафнієвому стержні та розміщення стержня у кінцевій деталі таким чином, щоб кільцеві канавки останнього були розташовані напроти кільцевих виступів кінцевої деталі, дозволяє зменшити масу кінцевої деталі та створює можливість більш направлено і ефективно концентрувати енергію в місці оплавлення стінок кінцевої деталі. Крім того, даний спосіб дозволяє здійснювати з'єднання кінцевої деталі з гафнієвим стержнем шляхом локального оплавлення кінцевої деталі у місцях виступів. Така концентрація енергії необхідна для виключення нагрівання матеріалу кінцевого елемента вище температури створення евтектики між нержавіючою сталлю та гафнієвим стержнем та забезпечення більшого запасу міцності з'єднання кінцевої деталі з гафнієвим стержнем.

Створення на гафнієвому стержні кільцевих канавок глибиною більше половини товщини оболонки забезпечує міцність з'єднання кінцевої деталі з гафнієвим стержнем більшу за величину від міцності оболонки поглинаючого елемента. При згаданих умовах у разі механічних навантажень руйнування ПЕЛ відбувається по оболонці. Якщо глибина канавки на гафнієвому стержні менша половини товщини стінки оболонки, то гафнієвий стержень в процесі механічних навантажень від'єднується від нержавіючої оболонки в результаті деформації оплавленої частини матеріалу кінцевої деталі. Тобто відбувається руйнування самого зварного з'єднання, що свідчить про низьку надійність експлуатації ПЕЛ.

Створення обхоплюючої ділянки на кінцевій деталі та обхопленої ділянки на гафнієвому стержні розмірами, що відповідають умові (1) обумовлено тим, що при такому співвідношенні розмірів міцність з'єднання кінцевої деталі із гафнієвим стержнем гарантовано не тільки перевищує міцність на розрив оболонки поглинаючого стержневого елемента, а й стає значно більшою ніж міцність з'єднання у ПЕЛ, який

виготовлено за способом, обраним як прототип. Це обумовлює високу надійність експлуатації ПЕЛ навіть при аварійних ситуаціях.

Якщо буде виконуватись умова  $4S_{об}/\pi d^2 > (D_k^2 - D_{вн}^2)/d^2$ , то міцність з'єднання кінцевої деталі із гафнієвим стержнем не буде перевищувати міцності на розрив оболонки поглинаючого стержневого елемента, що до низької надійності.

У випадку, коли буде виконуватись умова  $(D_k^2 - D_{вн}^2)/d^2 > k\sigma_{ст}/\sigma_{об}$ , а значення коефіцієнта  $k$  будуть більші за 2,8, то міцність з'єднання кінцевої деталі із гафнієвим стержнем також не буде перевищувати міцності на розрив оболонки поглинаючого стержневого елемента. Це також приведе до низької надійності експлуатації ПЕЛ.

На фіг.1 зображено переріз місця з'єднання кінцевої деталі з гафнієвим стержнем до нагрівання кінцевої деталі до температури її плавлення; на фіг.2 зображена конструкція запропонованого ПЕЛ після виготовлення.

Поглинаючий стержневий елемент має протяжну частину 1, виконану у вигляді заповненої порошкоподібним нейтронопоглинаючим матеріалом 2 трубчастої оболонки 3 із нержавіючої сталі, яка має стаканоподібну кінцеву деталь 4 з внутрішнім діаметром  $D_{вн}$ . До нагрівання кінцевої деталі до температури її плавлення обхоплююча ділянка кінцевої деталі 4 має на зовнішній бічній поверхні ділянку у вигляді поперемінних кільцевих канавок 5 діаметром  $D_k$  і виступів 6. ПЕЛ має також протяжну частину 7 у вигляді стержня із гафнію, на якому сформована обхоплена ділянка 8 з поперемінними кільцевими канавками 9 діаметром  $d$  і виступами 10. Глибина канавок 9 за величиною є більшою половини товщини оболонки.

Пропонований спосіб здійснюється так.

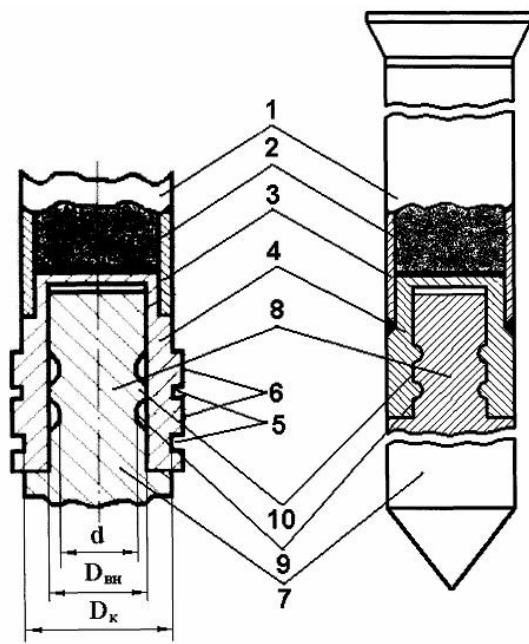
На стаканоподібній кінцевій деталі 4 (фіг.1) із  $D_{вн}=6,0$  мм готують обхоплюючу ділянку. На зовнішній бічній поверхні обхоплюючої ділянки формують ділянку з поперемінними кільцевими канавками 5 діаметром  $D_k=8,2$  мм та виступами 6. На гафнієвому стержні 7 формують обхоплену ділянку 8 у вигляді поперемінних кільцевих канавок 9 із  $d=4,6$  мм та виступів 10 із кроком, який дорівнює кроку поперемінних канавок 5 та виступів 6 кінцевої деталі 4. Стержень 7 обхопленої ділянки 8 розміщують у кінцевій деталі 4 так, щоб його кільцеві канавки 9 були розташовані напроти кільцевих виступів 6 деталі 4. Останню нагрівають у місцях її виступів 6 за допомогою локального джерела енергії (наприклад, електронно-променевої гармати) до температури плавлення матеріалу кінцевої деталі 4. Внаслідок розплавлення матеріал останньої заповнює (фіг.2) канавки 9 обхопленої ділянки 8 стержня 7. При цьому між кінцевою деталлю 4 та стержнем 7 внаслідок дифузійної взаємодії утворюється нерознімне зварне з'єднання. Далі кінцеву деталь 4 з боку її днища приєднують до оболонки 3 із нержавіючої сталі, яка має  $S_{об}=14,3$  мм<sup>2</sup>.

Для визначення оптимальних умов здійснення пропонованого способу було проведено ряд експериментів, результати яких наведено у таблиці.

Спосіб виготовлення	Глибина канавки, мм	Значення лівої частини умови (1)	Значення співвідношення діаметрів $(D^2 - D_{вн}^2)/d^2$	Значення правої частини умови (1)	Значення коефіцієнта $k$
Відомий спосіб					4
					5
Запропонований спосіб	0,25	0,41	0,34		3
	0,40	0,44	0,38		4
	0,60	0,47	0,43		4
	0,40	0,54	0,70	1,2	5
	0,60	0,65	0,89	1,2	5
	0,70	0,79	1,2	1,2	5
	0,70		3,53	3,36	4

Проведені випробування свідчать, що з'єднання одержані за пропонованим способом при оптимальному співвідношенні розмірів мають значення межі міцності, вищі в (1,6...2,0) рази та відповідно, вищий запас міцності у порівнянні з аналогічними з'єднаннями, виконаними за способом, приведеним у прототипі. Це свідчить про більш високу надійність роботи запропонованого поглинаючого елемента, особливо у разі швидких теплових змін при планових зупинках реактора та аварійних ситуаціях.

Таким чином, запропонований спосіб виготовлення забезпечує створення більш ефективного та надійного поглинаючого елемента у порівнянні з прототипом та має більш широкі можливості по режимах виготовлення.



Фиг. 1

Фиг. 2