

(19)



SUOMI - FINLAND

(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS

PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 931374 A7**

(12) **JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS  
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG  
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE  
PUBLIC**

(21) Patentihakemus - Patentansökan - Patent application **931374**

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation -  
International patent classification  
**G21C 3/20**

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **26.03.1993**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **26.03.1993**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **28.09.1993**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **13.06.2019**

(32) (33) (31) Etu oikeus - Prioritet - Priority

27.03.1992 US 858904

(71) Hakija - Sökande - Applicant

**1 • Siemens Power Corporation**, 2101, Horn Rapids Road Richland, Wash. 99352, USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

**1 • Perkins, Richard A.**, USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

**2 • Busch, Raymond A.**, USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

**Kolster Oy Ab**, Salmisaarenaukio 1, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention

**Korroosionkestävä sirkoniumvuoraus ydinpolttoainesauvan päällystä varten**

**Korrosionsbeständig zirkoniumfodring för ett hölje för en kärnbränslesten**

## Korroosionkestävä sirkoniumvuoraus ydinpolttoainesauvan päällystä varten

5 Esillä olevan keksinnön kohteena ovat ydinreaktorin ydinpolttoainesauvat ydinreaktorin polttoainesauvayhdistelmää varten ja erityisesti sirkoniumseoksesta tehty päällyspanputki, joka on varustettu sisäpinnallaan sirkoniumvuorauksella.

10 Ydinpolttoaine-elementti sisältää yleensä päällyspanputken, jonka sisälle on pinottu sintratusta uraanioksidista, toriumoksidista, plutoniumoksidista tai tällaisten oksidipolttoaineiden seoksesta tehdyt polttoainepallot ja päätetulpat, jotka sulkevat päällyspanputken sekä ylä- että alapään. Lisäksi kaasunsäilytyskammio tai -tila on muodostettu 15 päällyspanputken sisään fissiotuotekaasuja varten. Tämän kammion sisälle on asetettu jousi tai mekanismi sintrattujen polttoainepalloje pitämiseksi vakaasti paikoillaan päällyspanputken sisällä.

20 Päällyspan estää osaltaan polttoainepallojen ja jäähdytysaineen ja/tai hidastimen välisen kosketuksen ja kemiallisen reaktion. Lisäksi päällyspanputki estää jäähdytysaineen likaantumisen reaktorin toiminnan aikana polttoainepalloista lähtevien radioaktiivisten fissiotuotteiden johdosta. Päällyspanputken vuototiiviyyden häviö voisi aiheuttaa 25 reaktorin ja siihen liittyvien järjestelmien likaantumisen ja laitostoimintojen häiriintymisen.

Päällyspanputken materiaalilla on oltava erinomaiset mekaaniset ominaisuudet ja hyvä korroosionkestävyys käyttöympäristössä ja reaktorin odotettujen käyttöolosuhteiden alaisena. Tavanomaiset päällyspanmateriaalit käsittävät sirkoniumin ja sen seokset sekä ruostumattoman teräksen. Sirkoniumseoksia, joiden pääasiallisena aineosana on sirkonium, käytetään laajasti päällyspanputken materiaaleina. Kaksi yleisimmin käytettyä sirkoniumseosta ovat Zircaloy 2 ja 35 Zircaloy 4 ja ne on selostettu ASTM standardissa B350-91

(1991), sekä standardimäärittelyksessä Standard Specification For Zirconium and Zirconium Alloy Ingots For Nuclear Application seoksina R60802 ja vastaavasti R60804. Zircaloy 2 (seos R60802) käsittää 1,20 - 1,70 painoprosenttia tinaa, 0,07 - 0,20 painoprosenttia rautaa, 0,05 - 0,15 painoprosenttia kromia, ja 0,03 - 0,08 painoprosenttia nikkeliä, jolloin raudan, kromin ja nikkelin yhteispitoisuus on 0,18 - 0,38, muun materiaalin käsittäessä sirkoniumin ja epäpuhtaudet. Zircaloy 4 (seos R60804) käsittää 1,20 - 1,70 painoprosenttia tinaa, 0,18 - 0,24 painoprosenttia rautaa ja 0,07 - 0,13 painoprosenttia kromia, jolloin raudan ja kromin yhteispitoisuus on 0,28 - 0,37 painoprosenttia, muun materiaalin käsittäessä sirkoniumin ja epäpuhtaudet. Maksimaaliset epäpuhtaustasot Zircaloy 2:ta ja Zircaloy 4:ää varten on esitetty seuraavassa taulukossa, joka on otettu ASTM B350-91 standardin taulukosta 1.

## MAKSIMAALISET EPÄPUHTAUDET PAINOPROSENTTEINA

|    |                      | R60001  | R60802  | R60804  |
|----|----------------------|---------|---------|---------|
|    | Alumiini             | 0,0075  | 0,0075  | 0,0075  |
|    | Boori                | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 |
| 5  | Kadmium              | 0,00005 | 0,00005 | 0,00005 |
|    | Hiili                | 0,027   | 0,027   | 0,027   |
|    | Kromi                | 0,020   | --      | --      |
|    | Koboltti             | 0,0020  | 0,0020  | 0,0020  |
|    | Kupari               | 0,0050  | 0,0050  | 0,0050  |
| 10 | Hafnium              | 0,010   | 0,010   | 0,010   |
|    | Rauta                | 0,150   | --      | --      |
|    | Vety                 | 0,0025  | 0,0025  | 0,0025  |
|    | Happi                | *       | *       | *       |
|    | Magnesium            | 0,0020  | 0,0020  | 0,0020  |
| 15 | Molybdeeni           | 0,0050  | 0,0050  | 0,0050  |
|    | Nikkeli              | 0,0070  | --      | 0,0070  |
|    | Niobium              | 0,010   | 0,010   | 0,010   |
|    | Typpi                | 0,0065  | 0,0065  | 0,0065  |
|    | Pii                  | 0,0120  | 0,0120  | 0,0120  |
| 20 | Tina                 | 0,0050  | --      | --      |
|    | Titaani              | 0,0050  | 0,0050  | 0,0050  |
|    | Volframi             | 0,010   | 0,010   | 0,010   |
|    | Uraani               | 0,00035 | 0,00035 | 0,00035 |
| 25 | (kokonais-<br>määrä) |         |         |         |

\*Jos ostomääräyksessä niin vaaditaan, on hapen määrä määritettävä ja ilmoitettava. Sallitun maksimi- tai minimiarvon tai molempien on oltava ostomääräyksen mukaisia.

30

Vaikka useilla sirkoniumseoksilla, kuten Zircaloy 2:lla ja Zircaloy 4:llä, on erinomaiset ominaisuudet päällysmateriaalina normaaleissa olosuhteissa, päällyspotki pyrkii haurastumaan ja murtumaan suuren palamisasteen yhteydessä johtuen paikallisista rasituksista, jotka aiheutuvat polttoaineen ja päällysteen välisestä differentiaa-

35

lisesta laajenemisesta ja kitkasta sekä polttoaineesta tulevista fissiotuotekaasuista, jotka jäävät päällyksen sisälle. Tällaista vaurioitumismekanismeja kutsutaan polttoainepallojen ja päällysteen vuorovaikutukseksi, Pellet Cladding Interaction (PCI).

PCI-murtuman estämiseksi päällysvuoraus on asetettu polttoainepallojen ja zircaloy-putken väliin. Tämä vuoraus eliminoi zircaloy:n ja fissiotuotteiden välisen kosketuksen. Polttoainepallojen lämpölaajenemisen aiheuttamien paikallisten jännitysten lieventämiseksi vuorausmateriaalin on oltava myös erittäin taipuisa. On yleisesti tunnettua, että pelkkä sirkonium on erittäin sopiva vuorausmateriaali. Maksimaaliset epäpuhtaustasot ydinreaktoreissa käytettävää sirkoniumia varten on esitetty edellä mainitussa taulukossa otsakkeella R60001. Sekä kidetankoa että sienimäistä sirkoniumia on käytetty tähän tarkoitukseen. Koska sirkoniumin on oltava erittäin taipuisaa, se täyttää parhaiten tehtävänsä seostamattomana. Seostamattomalla sirkoniumilla on kuitenkin erittäin huono korroosionkestävyys. Jos päällyste murtuu ja vettä ja/tai höyryä pääsee tunkeutumaan polttoainesauvan sisään, sirkoniumvuoraus ja erityisesti sen sisäseinä joutuu voimakkaan hapettumisen alaiseksi, joka voi aiheuttaa erittäin suuria sekundaarisia vaurioita. Tällaiset vauriot saattavat johtaa suuriin aksiaalisiin halkeamiin päällyksessä ja sallia liian suuret radioaktiiviset päästöt jäähdytysaineeseen. Seosmateriaalin lisääminen vuoraukseen korroosionkestävyyden parantamiseksi voi kuitenkin myös vähentää vuorauksen taipuisuutta.

Sirkoniumvuorauksen taipuisuus ja suuri raekoko saattavat edesauttaa pinnan murtumista tai mikrohalkeamien syntymistä päällyksen valmistuksen yhteydessä. US-patenttijulkaisussa n:ro 4 894 203 selostetaan parannettynydinpolttoainesauva, jonka yhteydessä sirkoniumseoksesta tehty kerros, johon on lisätty rautaa, kromia, kuparia, typpeä

5 tai niobiumia seoksen muodostamiseksi, on asetettu sirko-  
niumvuorauksen sisäseinään estämään sirkoniumvuorauksen  
murtumistaipumus valmistuksen aikana ja sen hapettuminen  
käytön aikana. US-patenttijulkaisuissa nro 4 610 842 ja  
4 816 215 selostetaan koko vuorauksen seostaminen pitoi-  
suudeltaan 0,1 - 4 % olevalla tinalla sen korroosionkestä-  
vyyden parantamiseksi. Koska tällainen tinaseostus kuiten-  
kin lisää sirkoniumia ja tinaa käsittävien seosten kestä-  
vyyden puhtaan sirkoniumin kestävyyttä suuremmaksi, näistä  
10 sirkonium-tina-seoksista tehtyjen vuorausten taipuisuus  
vähenee.

Olisi siten edullista aikaisemmin tunnettuihin rat-  
kaisuihin verrattuna saada aikaan ydinpolttoainesauvoja  
varten tarkoitettu sirkoniumvuoraus, jossa on korroosion-  
kestävä sisäinen seospinta, säilyttäen samalla tämän sir-  
15 koniumvuorauksen taipuisuus.

Esillä olevan keksinnön kohteena on ydinpolttoaine-  
sauvaa varten tarkoitettu päällyysputki, joka sisältää ul-  
koisen pitkänomaisen metallipäällyysputken ja sirkoniumista  
20 tehdyn sisäseinällä varustetun päällyysvuorauksen, tämän  
ulkoisen pitkänomaisen metallipäällyysputken ollessa ver-  
hottuna sisäisesti päällyysvuorauksella, joka on varustet-  
tu sisäisellä diffuusio-osalla, joka on muodostettu sisä-  
seinän sisäpuolelle ja ulottuu siitä sisäänpäin, sanotun  
sisäisen diffuusio-osan ollessa tehtynä sirkoniumpohjai-  
25 sesta seoksesta, joka on valittu ryhmästä, joka käsittää  
sirkonium-tinaseokset, sirkonium-vanadiiniseokset ja sir-  
konium-tina-vanadiiniseokset, muun materiaalin käsittä-  
essä sirkoniumin ja sirkoniumista tehdyssä päällyysvuorauk-  
30 sessa normaalisti esiintyvät epäpuhtaudet.

Kuvio 1 esittää osittain leikattua pystykuvantoa  
tyypillisestä ydinreaktoria varten tarkoitusta polttoaine-  
sauvayhdistelmästä, jonka korkeutta on lyhennetty ja jota  
on osittain leikattu selvyiden ja havainnollisuuden vuok-  
35 si;

kuvio 2 esittää poikkileikkauskuvantoa kuviota 1 suuremmassa mittakaavassa ydinpolttoainesauvan vuoraukseen käytetystä vuorausputkesta, näyttäen vuorauksen sisäseinään asetetun materiaalikerroksen ennen lämpökäsittelyä; ja

kuvio 3 esittää poikkileikkauskuvantoa kuvion 1 mittakaavaa suuremmassa mittakaavassa ydinpolttoainesauvasta, joka on muodostettu kuviossa 2 esitetyn vuorauksen lämpökäsittelyn jälkeen.

Kuvio 1 esittää tyypillistä 8 x 8 sauvaa käsittävää kiehutusreaktoria varten tarkoitettua polttoainesauvayhdistelmää, jota on merkitty yleensä viitenumerolla 10. Polttoainesauvayhdistelmä 10 sisältää ylemmän ja alemman sidelevyn (eivät näy) ja useita putkimaisia polttoainesauvoja 13, jotka on kiinnitetty vastakkaisista päistään ylempään ja alempaan sidelevyyn. Useita ristikkovälikkeitä 15 on asetettu polttoainesauvojen 13 pituudelle. Välikkeet 15 muodostuvat kennot, joiden kautta polttoainesauvat 13 kulkevat. Virtauskanava (ei näy) on asetettu polttoainesauvanipun 13 ulkokehän ympärille. Tämän rakenteen yksityiskohtaisempi selostus löytyy US-patenttijulkaisusta nro 4 803 044, jolla on sama hakija kuin esillä olevalla keksinnöllä.

Vaikka tässä yhteydessä selostetaan 8 x 8 sauvaa käsittävä ydinpolttoainesauvasarja, niin tämä sarja on valittu käyttöön vain havainnollisuuden vuoksi. Vaikka esillä olevan keksinnön yhteydessä selostetaan putkimaiset tai pyöreällä poikkileikkauksella varustetut polttoainesauvat, niin alaan perehtyneet henkilöt ymmärtävät helposti, että esillä olevaa keksintöä voidaan käyttää kaikkien ydinpolttoainesauvakokojen, -muotojen ja -poikkileikkausten yhteydessä.

Kukin polttoainesauva 13 sulkee sisäänsä pinon polttoainepalloja 11. Kussakin pinossa olevat pallot 11

pidetään tiiviisti lähekkäin sauvan 13 yläpään ja ylimmän pallon 11 väliin asetetun jousen 17 avulla.

Kuvioon 2 viitaten ydinpolttoainesauvapäällisy 20 käsittää päällyspotken 30 ja vuorauksen 40. Vuorauksen 40 sisäseinään asetetaan tinasta tai vanadiinista tehty kerros 50. Tämän jälkeen päällysy lämpökäsitellään tinan ja/tai vandiinin hajottamiseksi vuorauksen sisään.

Kuvio 3 esittää poikkileikkauskuvantoa kuvion 1 mukaisessa yhdistelmässä käytetyn ydinpolttoainesauvan yhdestä päästä. Kuvion 3 mukainen polttoainesauva 13 muodostetaan kuviossa 2 näkyvän päällyspotken 30, vuorauksen 40 ja kerroksen 50 lämpökäsittelyn jälkeen. Vuoraus 40 sisältää sisäisen diffuusio-osan 41, joka käsittää lämpökäsittelyn aikana syntyneen diffuusiovyöhykkeen tinan ja vanadiinin siirtyessä vuorauksen 40 sisään kiinteästä tina- tai vanadiinikerroksesta 50. Päällyksen 20 muodos- tamisen jälkeen polttoainepallot 11 asetetaan päällyksen sisään. Polttoainepallot 11 erotetaan vuorauksen 40 sisäis- estä diffuusio-osasta 41 raon 60 välityksellä.

Samalla kun tina tai vanadiini hajaantuu muodos- taakseen sirkoniumvuorauksen 40 sisäisen diffuusio-osan 41, sirkoniumpäällyksen 30 sisältämät seosmetallit hajaan- tuvat ulkoseinän kautta vuorauksen 40 sisään. Raudan, kro- min ja/tai nikkelin kaltaiset metallit hajaantuvat zirca- loy-päällyksestä 30 vuorauksen 40 sisään muodostaen sirko- niumseoksen ulkoisen diffuusio-osan 42. Eräässä toisessa vaihtoehtoisessa sovellutusmuodossa nämä metallit voivat hajaantua vuorauksen 40 kautta sisäisen diffuusio-osan 41 sisään sirkoniumin ja tinan tai vanadiinin seoksen muodos- tamiseksi, joka lisää korroosionkestävyyttä vuorauksen si- säpinnassa.

Esillä olevan keksinnön mukaisesti vuorauksen 40 koostumusta muutetaan valmistuksen aikana kerrostamalla tinaa ja/tai vanadiinia vuorauksen 40 sisäpintaan päällyk- sen valmistusprosessin aikana ja sallimalla kerrostetun



materiaalin hajaantuminen vuorauksen 40 sisään tätä seuraavan lämpökäsittelyn aikana. Kerrostaminen suoritetaan suulakepuristusta seuraavan mahdollisen pelkistysvaiheen jälkeen. Tina- ja/tai vanadiinikerros asetetaan vuorauksen 40 sisäseinään useiden yleisesti tunnettujen menetelmien avulla, jotka sisältävät kuitenkin rajoittamattomassa mielessä kemiallisen ja fysikaalisen höyrykerrostamisen, elektrolyyttisen tai upotuksen avulla tapahtuvan (ei-sähköisen) pinnoituksen tai metalloinnin.

Tina ja vanadiini kerrostetaan vuorauksen 40 sisäseinään ja sen jälkeen lämpökäsitellään sisäisen diffuusio-osan muodostamiseksi, joka lisää sirkoniumin korroosionkestävyyttä päällyspotken 30 murtuessa. Tina tai vanadiini hajaantuu sirkoniumvuorauksen 40 sisään muodostaen ohuen sirkoniumseoksen sisäiseen diffuusio-osaan 41, jolloin vuorauksen pääosa ei kuitenkaan tule seostetuksi. Tällöin ilman tina- tai vanadiiniseosta oleva vuorauksen osa säilyttää tarpeellisen taipuisuutensa antaen suojaa PCI-murtumaa vastaan. Sisäisen diffuusio-osan 41 pinnan parantunut korroosionkestävyys aiheuttaa suojaavan oksidikalvon muodostumisen, joka estää jäähdytysaineen pääsyn allaolevaan sirkoniumvuoraukseen, joka hapettuisi nopeasti. Muodostamalla seos vuorauksen 40 sisäosan sisäiseen diffuusio-osaan 41 saavutetaan parempi korroosionkestävyys sitä tilannetta varten, että vettä tai höyryä pääsisi tunkeutumaan sauvan sisään, ja säilytetään vuorauksen 40 taipuisuus mekaanisten kuormitusten kestämistä varten, joita polttoainepallot 11 siihen kohdistavat.

Vaikka päällystä 30 varten käytetyt materiaalit sisältävät sirkoniumia ja sen seoksia sekä ruostumatonta terästä, suositeltavimpana materiaalina on sirkonium ja sen seokset, ja erityisesti Zircaloy 2 ja Zircaloy 4. Parhaana materiaalina vuorausta 40 varten on erittäin puhdas sirkonium, kuten sienimäinen tai kidetangon muodossa oleva sirkonium.

Esillä olevan keksinnön mukainen päällys 20 valmistetaan prosessin avulla, jonka yhteydessä valanteet tai ontot putkiosat muodostetaan ohutseinäisiksi pitkänomaisiksi putkiksi. Sopivimmin zircaloystä tehty valanne tai materiaalitanko päällyspotkea 30 varten muodostetaan ontoksi putkeksi ja sopivimmin sirkoniumista tehty vuoraus 40 muodostetaan putkiontelon sisään ja kiinnitetään putken 30 sisäpintaan. Päällysseosaihio suulakepuristetaan tämän jälkeen ja asetetaan sitten valssaus- tai pilger-valssausvaihesarjan alaiseksi. Diffuusiosidonta putken 30 ja vuorauksen 40 välillä saadaan aikaan lämpötilaltaan korkean suulakepuristusprosessin ja sitä seuraavan päällystevalssaus- ja lämpökäsittelytoimenpiteen aikana valmistuksen aikana. Tina- tai vanadiinikerrostaminen voidaan suorittaa pelkistysvaiheen jälkeen valmistusprosessin aikana. Lämpökäsittely tapahtuu 500 - 750 °C lämpötilassa kerroksen 41 muodostamiseksi, joka sisältää sirkoniumin ja tinan tai vanadiinin seoksen sirkoniumvuorauksen 40 sisäpinnalla. Suositeltavat lämpökäsittelyolosuhteet käsittävät neljän tunnin käsittelyn lämpötilassa 650 °C - yhden tunnin käsittelyn lämpötilassa 750 °C. Lämpökäsittelyolosuhteita voidaan säädellä halutun tina- tai vanadiinimäärän diffuusion sallimiseksi vuorauksen sisään. Peräkkäisiä lämpökäsittelyjä varten käytettyä aikaa ja lämpötilaa voidaan muuttaa vuoraukseen kerrostettujen elementtien halutun jakaantumisen aikaansaamiseksi.

Vaikka tinan tai vandiinin käyttö vuorauksen 40 sisäisen diffuusio-osan 41 muodostamiseksi lisää vuorauksen kestävyyttä, tämän sisäisen diffuusio-osan 41 paksuus on rajoitettu, jotta allaoleva pehmeä sirkoniumvuoraus 40 säilyttäisi taipuisuutensa, jonka ansiosta se voi estää vuorausmurtumat sekä näiden murtumien etenemisen. Esillä olevan keksinnön eräässä suositeltavassa sovellutusmuodossa sisäisen diffuusio-osan 41 paksuus on noin 0,1 - noin 1,0  $\mu\text{m}$ .

- Tinan tai vanadiinin määrän lisääntyessä sisäisessä diffuusio-osassa 41 tai sisäisen diffuusio-osan 41 paksuuden lisääntyessä vuorauksen kyky estää murtumien eteneminen vähenee. Siten on suotavaa, että sisäisen diffuusio-
- 5 osan 41 paksuus on alle  $1/4$  vuorauksen 40 paksuudesta ja sopivimmin alle  $1/10$  vuorauksen paksuudesta. Seoskerroksen tina- ja vanadiinipitoisuuden olisi oltava kokonaismäärältään alle 1,0 painoprosenttia ja sopivimmin alle 0,2 painoprosenttia vuorauksen taipuisuuden säilyttämiseksi.
- 10 Vaikka esillä olevaa keksintöä on edellä erityisesti kuvattu ja selostettu sen suositeltaviin sovellutusmuotoihin viitaten, niin alaan perehtyneille henkilöille on selvää, että siihen voidaan tehdä useita erilaisia muutoksia ja muunnelmia keksinnön hengestä ja suojapiiristä
- 15 poikkeamatta.

### Patenttivaatimukset:

1. Pääallysputki ydinpolttoainesauvaa varten,  
 5 t u n n e t t u siitä, että tämä pääallysputki käsittää:  
 ulkoisen pitkänomaisen metallipääallysputken;

sirkoniumista tehdyn pääallysvuorauksen sisäseinällä  
 varustettuna, sanotun ulkoisen pitkänomaisen metallipääal-  
 lyksen ollessa vuorattuna sisäisesti tämän pääallysvuorauk-  
 10 sen avulla, joka sisältää sisäisen diffuusio-osan muodos-  
 tettuna sisäseinään ja uloten siitä sisäänpäin, tämän si-  
 säisen diffuusio-osan ollessa tehtynä sirkoniumpohjaisesta  
 seoksesta, joka on valittu ryhmästä, joka käsittää sirko-  
 nium-tina seokset, sirkonium-vanadiiniseokset ja sirko-  
 15 nium-tina-vanadiiniseokset, muun materiaalin käsittäessä  
 sirkoniumin ja sirkoniumpääallysvuorauksessa normaalisti  
 esiintyvät epäpuhtaudet.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen pääallysputki,  
 t u n n e t t u siitä, että sisäisessä diffuusiokerrok-  
 20 sessa oleva sirkoniumpohjainen seos muodostetaan asetta-  
 malla materiaalikerroks sirkoniumpääallysvuorauksen sisäsei-  
 nään ja lämpökäsittelemällä pääallysputki ja materiaaliker-  
 roksen sisältävä pääallysvuoraus noin 500 - noin 750 °C läm-  
 pötilassa materiaalin hajottamiseksi vuorauksen sisäseinän  
 25 läpi sisäisen diffuusio-osan muodostamista varten, tämän  
 materiaalin ollessa valittuna alkuainetinan ja -vanadiinin  
 muodostamasta ryhmästä.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen pääallysputki,  
 t u n n e t t u siitä, että tinan ja vanadiinin pitoisuus  
 30 sisäisessä diffuusio-osassa on alle noin yksi painopro-  
 sentti.

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen pääallysputki,  
 t u n n e t t u siitä, että tinan ja vanadiinin pitoisuus  
 sisäisessä diffuusio-osassa on alle noin 0,2 painoprosent-  
 35 tia.

5. Patenttivaatimuksen 3 mukainen päällyys, t u n n e t t u siitä, että sisäisen diffuusio-osan paksuus on noin 0,1 - noin 1,0  $\mu\text{m}$ .

5 6. Patenttivaatimuksen 4 mukainen päällyys, t u n n e t t u siitä, että sisäisen diffuusio-osan paksuus on noin 0,1 - noin 1,0  $\mu\text{m}$ .

7. Patenttivaatimuksen 5 mukainen päällyys, t u n n e t t u siitä, että sirkoniumpäällyysvuorauksen materiaali on valittu ryhmästä, joka käsittää kidetankosirkoniumin ja sienimäisen sirkoniumin.

8. Patenttivaatimuksen 7 mukainen päällyysputki, t u n n e t t u siitä, että ulkoisen pitkänomaisen metallipäällyysputken materiaalina on sirkoniumseos.

9. Patenttivaatimuksen 8 mukainen päällyysputki, 15 t u n n e t t u siitä, että päällyysvuorauksella on tietty paksuus ja että sisäisen diffuusio-osan paksuus on vähemmän kuin noin yksi neljäsosa vuorauksen paksuudesta.

10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen päällyysputki, 20 t u n n e t t u siitä, että sisäisen diffuusio-osan paksuus on vähemmän kuin noin yksi kymmenesosa vuorauksen paksuudesta.

11. Patenttivaatimuksen 10 mukainen päällyysputki, t u n n e t t u siitä, että sirkoniumseoksena on zircaloy 2.

25 12. Patenttivaatimuksen 10 mukainen päällyysputki, t u n n e t t u siitä, että sirkoniumseoksena on zircaloy 4.

13. Patenttivaatimuksen 11 mukainen päällyysputki, 30 t u n n e t t u siitä, että päällyysvuoraus käsittää ulkoseinän ja lisäksi tähän ulkoseinään muodostetun ja siitä sisäänpäin ulkonevan ulkoisen diffuusio-osan, joka on tehty sirkoniumpohjaisesta seoksesta, joka on muodostettu päällyysputken sisältämien metallien diffuusion avulla, näiden metallien ollessa valittuina ryhmästä, joka käsittää 35 pääasiassa nikkelin, raudan ja kromin.

14. Patenttivaatimuksen 12 mukainen päällyspotki,  
 t u n n e t t u siitä, että päällysvuoraus käsittää ulko-  
 seinän ja lisäksi tähän ulkoseinään muodostetun ja siitä  
 sisäänpäin ulkonevan ulkoisen diffuusio-osan, joka on teh-  
 5 ty sirkoniumpohjaisesta seoksesta, joka on muodostettu  
 päällyspotken sisältämien metallien diffuusion avulla,  
 näiden metallien ollessa valittuina ryhmästä, joka käsit-  
 tää pääasiassa raudan ja kromin.

15. Patenttivaatimuksen 14 mukainen päällyspotki,  
 10 t u n n e t t u siitä, että lämpökäsittely tapahtuu noin  
 650 °C lämpötilassa noin neljän tunnin ajan - noin 750 °C  
 lämpötilassa noin yhden tunnin ajan.

16. Päällyspotki ydinpolttoainesauvaa varten,  
 t u n n e t t u siitä, että tämä päällyspotki käsittää:  
 15 ulkoisen pitkänomaisen metallipäällyspotken;  
 sirkoniumista tehdyn päällysvuorauksen sisäseinällä  
 varustettuna, sanotun ulkoisen pitkänomaisen metallipääl-  
 lyksen ollessa vuorattuna sisäisesti tämän päällysvuorauk-  
 sen avulla, joka sisältää sisäisen diffuusio-osan muodos-  
 20 tettuna sisäseinään ja uloten siitä sisäänpäin, tämän si-  
 säisen diffuusio-osan ollessa tehtynä sirkoniumpohjaisesta  
 seoksesta, joka on valittu ryhmästä, joka käsittää sirko-  
 nium-tina seokset, sirkonium-vanadiiniseokset ja sirko-  
 nium-tina-vanadiiniseokset, muun materiaalin käsittäessä  
 25 sirkoniumin ja sirkoniumpäällysvuorauksessa normaalisti  
 esiintyvät epäpuhtaudet;

useita polttoainepalloja asetettuina päällyspotken  
 sisään jättäen rengasmaisen rako sirkoniumpäällysvuorauk-  
 sen sisäseinän väliin;

30 suljentavälineet päällyspotken päiden sulkemista  
 varten;

pitolaitteet polttoainepallojen pitämiseksi pääl-  
 lyspotken sisällä.

17. Patenttivaatimuksen 16 mukainen ydinpoltto-  
 35 aine-elementti, t u n n e t t u siitä, että sirkonium-

pohjainen seos sisäisessä diffuusio-osassa on muodostettu asettamalla materiaalikerros sirkoniumpäälyysvuorauksen sisäseinään ja lämpökäsittelemällä päälyysputki ja tämän materiaalikerroksen sisältävä päälyysvuoraus noin 500 -  
 5 noin 750 °C lämpötilassa materiaalin hajottamiseksi vuorauksen sisäseinän kautta sisäisen diffuusio-osan muodostamiseksi, tämän materiaalin ollessa valittuna ryhmästä, joka käsittää alkuainetinan ja -vandiinin.

18. Patenttivaatimuksen 17 mukainen ydinpolttoaine-elementti, t u n n e t t u siitä, että tinan ja vandiinin pitoisuus sisäisessä diffuusio-osassa on pienempi kuin noin yksi painoprosentti.

19. Patenttivaatimuksen 18 mukainen ydinpolttoaine-elementti, t u n n e t t u siitä, että tinan ja vandiinin pitoisuus sisäisessä diffuusio-osassa on pienempi kuin noin 0,2 painoprosenttia.

20. Patenttivaatimuksen 18 mukainen päälyys, t u n n e t t u siitä, että sisäisen diffuusio-osan paksuus on noin 0,1 - noin 1,0 µm.

21. Patenttivaatimuksen 19 mukainen päälyys, t u n n e t t u siitä, että sisäisen diffuusio-osan paksuus on noin 0,1 - noin 1,0 µm.

22. Patenttivaatimuksen 20 mukainen päälyys, t u n n e t t u siitä, että sirkoniumpäälyysvuorauksen materiaali on valittu ryhmästä, joka käsittää kidetanko-sirkoniumin ja sienimäisen sirkoniumin.

23. Patenttivaatimuksen 22 mukainen päälyysputki, t u n n e t t u siitä, että ulkoisen pitkänomaisen metallipäälyysputken materiaalina on sirkoniumseos.

24. Patenttivaatimuksen 23 mukainen päälyysputki, t u n n e t t u siitä, että päälyysvuorauksella on tietty paksuus ja että sisäisen diffuusio-osan paksuus on vähemmän kuin noin yksi neljäsosa vuorauksen paksuudesta.

25. Patenttivaatimuksen 24 mukainen päälyysputki, t u n n e t t u siitä, että sisäisen diffuusio-osan pak-

suus on vähemmän kuin noin yksi kymmenesosa vuorauksen paksuudesta.

26. Patenttivaatimuksen 25 mukainen päällysputki,  
t u n n e t t u siitä, että sirkoniumseoksena on zirca-  
5 loy 2.

27. Patenttivaatimuksen 25 mukainen päällysputki,  
t u n n e t t u siitä, että sirkoniumseoksena on zirca-  
loy 4.

28. Patenttivaatimuksen 26 mukainen päällysputki,  
10 t u n n e t t u siitä, että päällysvuoraus käsittää ulko-  
seinän ja lisäksi tähän ulkoseinään muodostetun ja siitä  
sisäänpäin ulkonevan ulkoisen diffuusio-osan, joka on teh-  
ty sirkoniumpohjaisesta seoksesta, joka on muodostettu  
15 päällysputken sisältämien metallien diffuusion avulla,  
näiden metallien ollessa valittuina ryhmästä, joka käsit-  
tää pääasiassa nikkelin, raudan ja kromin.

29. Patenttivaatimuksen 27 mukainen päällysputki,  
t u n n e t t u siitä, että päällysvuoraus käsittää ulko-  
seinän ja lisäksi tähän ulkoseinään muodostetun ja siitä  
20 sisäänpäin ulkonevan ulkoisen diffuusio-osan, joka on teh-  
ty sirkoniumpohjaisesta seoksesta, joka on muodostettu  
päällysputken sisältämien metallien diffuusion avulla,  
näiden metallien ollessa valittuina ryhmästä, joka käsit-  
tää pääasiassa raudan ja kromin.

30. Patenttivaatimuksen 28 mukainen päällysputki,  
25 t u n n e t t u siitä, että lämpökäsittely tapahtuu noin  
650 °C lämpötilassa noin neljän tunnin ajan - noin 750 °C  
lämpötilassa noin yhden tunnin ajan.

31. Patenttivaatimuksen 29 mukainen päällysputki,  
30 t u n n e t t u siitä, että lämpökäsittely tapahtuu noin  
650 °C lämpötilassa noin neljän tunnin ajan - noin 750 °C  
lämpötilassa noin yhden tunnin ajan.



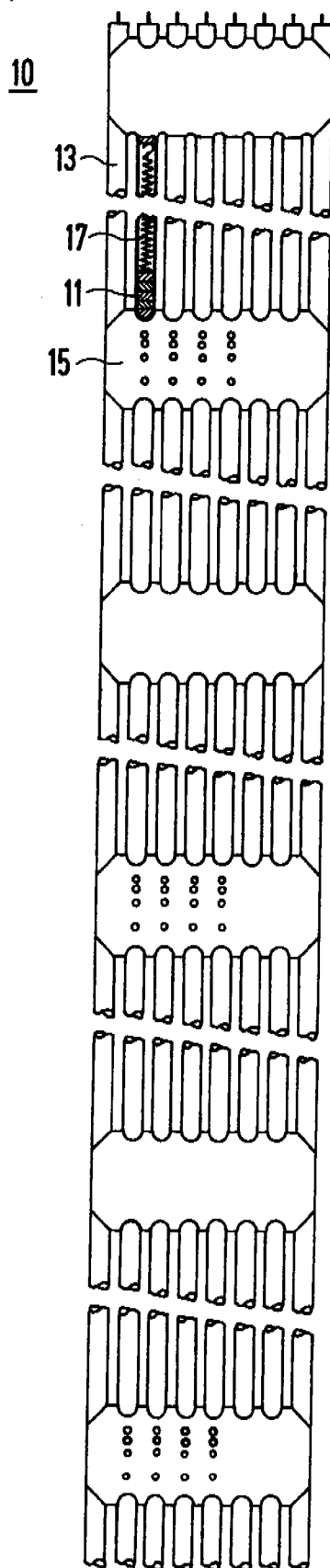


FIG 1

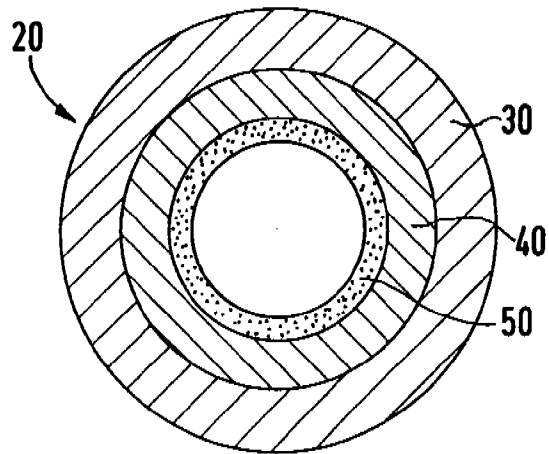


FIG 2

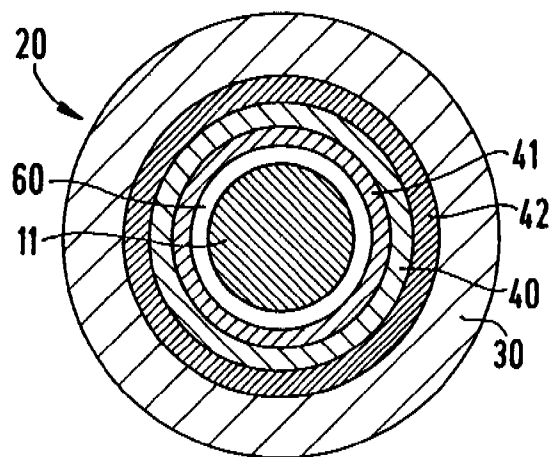


FIG 3