

---

Octofoiraad



[10] A Terinzagelegging [11] 7414266

Nederland

[19] NL

---

- [54] Nucleair brandstofelement.  
[51] Int.Cl<sup>2</sup>: G21C3/20.  
[71] Aanvrager: General Electric Company te Schenectady, New York, Ver.St.v.Am.  
[74] Gem.: Ir. G.H. Boelsma e.s.  
Octrooibureau Polak & Charlois  
Laan Copes van Cattenburch 80  
's-Gravenhage.

- 
- [21] Aanvraag Nr. 7414266.  
[22] Ingediend 31 oktober 1974.  
[32] Voorrang vanaf 11 februari 1974.  
[33] Land van voorrang: Ver. St. v. Am. (US).  
[31] Nummer van de voorrangsaanvraag: 441133.  
[23] --  
[61] --  
[62] --

- 
- [43] Ter inzage gelegd 13 augustus 1975.

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

---

General Electric Company te Schenectady, New York, Verenigde Staten van Amerika

Nucleair brandstofelement

De uitvinding heeft in de ruimste zin betrekking op een verbetering van nucleaire brandstofelementen voor gebruik inde kern van nucleaire splitsingsreactoren, en meer in het bijzonder op een verbeterd nucleair brandstofelement, waarbij een voering aangebracht is tussen de bekleding en het nucleaire brandstofmateriaal, terwijl een materiaal met groot smeervermogen in de vorm van een deklaag aangebracht is tussen de voering en de bekleding.

Kernreactoren worden op het ogenblik ontworpen, geconstrueerd en in bedrijf gesteld, waarbij de nucleaire brandstof zich bevindt in brandstofelementen, welke diverse geometrische vormen kunnen hebben, zoals platen, buizen of staven. Het brandstofmateriaal wordt gewoonlijk opgesloten in een corrosie-bestendige, niet-reactieve, warmtegeleidende houder of bekleding. De elementen worden tezamen gemonteerd in een vakwerk op vaste afstanden van elkaar in een koelmiddel-stroomkanaal of zone onder vorming van een brandstofsamenstel, en voldoende brandstofsamenstellen worden gecombineerd ter vorming van het kernsplitsing, kettingreactie veroorzakende samenstel of reactor kern in staat voor een zichzelf in stand houdende splitsingsreactie. De kern is op zijn beurt opgesloten binnen een reactorvat, waardoorheen men een koelmiddel laat stromen.

De bekleding dient voor twee hoofddoeleinden: ten eerste om contact en chemische reacties te voorkomen tussen de nucleaire brandstof en het koelmiddel of de moderator, indien een moderator aanwezig is, of beide, indien zowel het koelmiddel als de moderator aanwezig zijn; en ten tweede om te beletten, dat de radio-actieve splitsingsprodukten, waarvan sommige gassen zijn, uit de brandstof worden vrijgemaakt en terecht komen in het koelmiddel of de moderator of beide, indien zowel het koelmiddel als de moderator aanwezig zijn. De ge-

7414266

bruikelijke bekledingsmaterialen zijn roestvrij staal, aluminium en de legeringen ervan, zirconium en de legeringen ervan, niobium (columbium), bepaalde magnesiumlegeringen, en andere. Een breuk in de bekleding, d.w.z. een storing in de lektheid, kan het koelmiddel of de moderator en de bijbehorende systemen verontreinigen met radio-actieve producten met een lange levensduur in een zodanige mate, dat een goede werking van de fabriek verhinderd wordt.

Problemen hebben zich voorgedaan bij de vervaardiging en het in bedrijf hebben van nucleaire brandstofelementen, welke bepaalde metalen en legeringen toepassen als bekledingsmateriaal ten gevolge van mechanische of chemische reacties van deze bekledingsmaterialen onder bepaalde omstandigheden. Zirconium en de legering ervan zijn onder normale omstandigheden uitstekende materialen als nucleaire brandstofbekleding, aangezien zij lage neutronenabsorptiedoorsneden bezitten en bij temperaturen beneden ongeveer  $315^{\circ}\text{C}$  sterk, taai, uitzonderlijk stabiel en niet-reactief zijn in aanwezigheid van gedemineeraliseerd water of stoom, welke gewoonlijk worden gebruikt als koelmiddelen en moderatoren in een kernreactor. Binnen de begrenzingen van een afgedicht brandstofelement echter kan het door de langzame reactie tussen de bekleding en het residuwater binnen de bekleding opgewekte waterstofgas een druk opbouwen tot een niveau, dat onder bepaalde omstandigheden kan resulteren in een plaatselijke waterstofbroosheid van de legering met daarmede gepaard gaande een plaatselijke verslechtering van de mechanische eigenschappen van de bekleding. De bekleding kan eveneens aangepast worden door gasen zoals zuurstof, stikstof, koolmonoxide en kooldioxide over een breed temperatuurbereik. Tevens heeft het gedrag van een brandstofelement een probleem onthuld met betrekking tot de splitsing van de bekleding als gevolg van wisselwerkingen tussen de nucleaire brandstof, de bekleding en de tijdens de kernsplittingsreacties geproduceerde splittingsproducten.

De zirconiumbekleding van een nucleair brandstof-

741 4266

element wordt blootgesteld aan één of meer van de hierboven  
genoemde gassen en splitsingsprodukten tijdens bestraling in  
een kernreactor en dit vindt plaats in weerwil van het feit,  
dat deze gassen niet aanwezig kunnen zijn in het koelmiddel  
5 of de moderator van de reactor, en voorts zoveel mogelijk uit-  
de omringende atmosfeer verwijderd kunnen zijn tijdens de ver-  
vaardiging van de bekleding en het brandstofelement. Gesinter-  
de vuurvaste en keramische samenstellingen, zoals uraniumdio-  
zide en andere als nucleaire brandstof gebruikte samenstellingen  
10 maken meetbare hoeveelheden van de hiervoor genoemde gassen  
vrij tijdens het verhitten, zoals tijdens de vervaardiging van  
het brandstofelement en in het bijzonder tijdens de bestraling.  
Van korrelvormige vuurvaste en keramische samenstellingen, zo-  
als uraniumdioxidepoeder en andere als nucleaire brandstof  
15 gebruikte poeders, is het bekend, dat zij zelfs grotere hoeveel-  
heden van de hiervoor genoemde gassen tijdens de bestraling  
vrijmaken. Deze vrijgemaakte gassen zijn in staat om te rea-  
geren met de zirconiumbekleding, die de nucleaire brandstof  
bevat. Deze reactie kanaanleiding geven tot broswording van  
20 de bekleding, welke een gevaar inhoudt voor de samenhang van  
het brandstofelement. Ofschoon water en waterdamp niet recht-  
streeks behoeven te reageren om dit resultaat te produceren,  
reageert waterdamp bij hoge temperaturen wel met zirconium  
en zirconiumlegeringen onder vorming van waterstof, en dit  
25 gas reageert voorts plaatselijk met het zirconium en de zirco-  
niumlegeringen, waardoor broswording ontstaat. Het vrij-  
komen van deze residu-gassen binnen het afgedichte metaal-  
beklede brandstofelement verhoogt eveneens de inwendige druk  
binnen het element en introduceert aldus extra spanningen in  
30 de aanwezigheid van corrosieve omstandigheden. Eerst onlangs  
is ontdekt, dat deze ongewenste resultaten sterk vergroot  
worden door de plaatselijke mechanische spanningen als gevolg  
van de verschillende uitzetting van brandstof-bekleding (plaat-  
selijke spanning bij  $UO_2$  scheurtjes). Corrosieve gassen worden  
35 uit de scheurtjes in de brandstof vrijgemaakt juist daar waar

7414266

plaatselijke spanning optreedt op het snijpunt van de brandstofscheurtjes met het bekledingsoppervlak. De plaatselijke spanning wordt versterkt door hoge wrijving tussen de brandstof en de bekleding.

5 Aldus in het licht van het bovenstaande is het gewenst gebleken te streven naar een minimale aanpassing van de bekleding door water, waterdamp en andere gassen, in het bijzonder waterstof, die reactief zijn met de bekleding binnen het brandstofelement gedurende de gehele tijd, dat het brandstof-  
10 element in het bedrijf van kernenergiefabrieken wordt gebruikt. Een eerste aanpak van dit probleem is geweest het vinden van materialen, welke chemisch snel met het water, waterdamp en andere gassen zullen reageren teneinde deze uit het inwendige van de bekleding te elimineren, en dergelijke materialen  
15 worden "getters" genoemd.

Een andere benadering van dit probleem is geweest het nucleaire brandstofmateriaal te bekleden met keramisch materiaal om te voorkomen, dat vocht in contact komt met het nucleaire brandstofmateriaal, zoals geopenbaard in het Amerikaanse octrooischrift nr. 3.108.936. Het Amerikaanse octrooischrift  
20 nr. 3.085.059 beschrijft een brandstofelement omvattende een metalen omhulling bevattende één of meer tabletten splijtbaar keramisch materiaal en een laag glasachtig materiaal, gebonden aan de keramische tabletten, zodat de laag zich bevindt tussen  
25 het omhulsel en de nucleaire brandstof ter waarborging van een gelijkmatige goede warmtegeleiding van de tabletten naar het omhulsel. Het Amerikaanse octrooischrift nr. 2.873.238 beschrijft ommantelde splijtbare uraniumbrokken ingeblikt in een metalen huis, waarin de beschermende mantels of bedekkingen  
30 voor de brokken gevormd worden door een zink-aluminiumbindlaag. Het Amerikaanse octrooischrift nr. 2.849.387 openbaart een ommanteld splijtbaar lichaam bevattende een aantal aan beide einden open ommantelde lichaamssecties van nucleaire brandstof, welke gedompeld zijn in een gesmolten bad van een bindmateriaal,  
35 dat een effectieve thermisch geleidende binding verschaft

741 4266

tussen de secties van het uraniumlichaam en de houder (of be-  
kleding). De opbrenglaag wordt beschreven als een willekeurige  
metaallegering, die goede thermisch geleidende eigenschappen  
5 bezit met voorbeelden omvattende aluminium-silicium en zink-  
aluminiumlegeringen. Het Japanse octrooischrift nr. SHO 47-  
46559 dd. 24 november 1972, openbaart het verdichten van discrete  
nucleaire brandstofdeeltjes tot een koolstofhoudende matrix-  
brandstofsamenstelling door de brandstofdeeltjes te overdekken met  
een gladde koolstofhoudende bedekking van hoge dichtheid ron-  
10 dom de tabletten. Nog een andere beschrijving van een bedekking  
wordt gegeven in het Japanse octrooischrift nr. SHO 47-14200,  
waarbij de bedekking van één van twee groepen tabletten geschiedt  
met een laag siliciumcarbide, terwijl de andere groep bedekt wordt  
met een laag pyrokobolstof of metaalcarbide.

15 De bedekking van nucleaire brandstofmateriaal intro-  
duceert het probleem van de betrouwbaarheid, doordat het ver-  
krijgen van gelijkmatige bedekkingen, die vrij zijn van fouten,  
moeilijk is. Voorts kan de verslechtering van de bedekking  
problemen introduceren ten aanzien van het gedrag van het  
20 nucleaire brandstofmateriaal bij lange levensduur.

Een andere benadering is geweest het introduceren  
van een barrière of metalen voering tussen het nucleaire brand-  
stofmateriaal en de bekleding, welke het nucleaire brandstof-  
materiaal omgeeft, zoals geopenbaard in het Amerikaanse oc-  
25 trooischrift nr. 3.230.150 (koperfolie), het Duitse "Auslege-  
schrift" 1.238.115 (titaanlaag), het Amerikaanse octrooischrift  
nr. 3.212.988 (omhulling van zirconium, aluminium of beryllium),  
het Amerikaanse octrooischrift nr. 3.018.238 (barrière van  
kristallijn koolstof tussen de  $UO_2$  en de zirconiumbekleding),  
30 en het Amerikaanse octrooischrift nr. 3.088+893 (roestvrij-  
stalen folie). Ofschoon het denkbeeld van een barrière veel-  
belovend is gebleken, houden verschillende van de hiervoor ge-  
noemde literatuurplaatsen zich bezig met materialen, die zich  
niet kunnen verdragen met hetzij de nucleaire brandstof (zo  
35 kan koolstof zich combineren met de zuurstof uit de nucleaire

741 4266

brandstof), hetzij de bekleding (zo kunnen koper en andere metalen of koolstof diffunderen in de bekleding, waardoor de eigenschappen van de bekleding gewijzigd worden), hetzij de kernsplittingsreactie (bijvoorbeeld door te gaan werken als neutronenabsorptiemiddelen). Geen van de hier aangehaalde literatuurplaatsen openbaart oplossingen voor het onlangs ontdekte probleem van plaatselijke spanning als gevolg van hoge wrijving tussen de nucleaire brandstof en de bekleding.

In overeenstemming hiermede is het gewenst gebleken om nucleaire brandstofelementen te ontwikkelen, waarbij de hierboven besproken problemen tot een minimum zijn teruggebracht.

Een bijzonder doeltreffend nucleair brandstofelement voor het gebruik in de kern van een kernreactor bezit (1) een metalen voering aangebracht tussen de bekleding en het nucleaire brandstofmateriaal, en (2) een materiaal met groot smeervermogen in de vorm van een deklaag aangebracht tussen de voering en de bekleding. De voering bestaat uit een materiaal met een kleine neutroneninvangdoorsnede en bestaat bij voorkeur uit zirconium, een zirconiumlegering, niobium of een niobiumlegering. De voering dient als een voorkeursreactieplek voor reactie met vluchtige onzuiverheden of splijtingsprodukten, die binnen het nucleaire brandstofelement aanwezig zijn en dient op deze wijze om de bekleding te beschermen tegen blootstelling aan en aantasting door de vluchtige onzuiverheden of splijtingsprodukten. Tijdens nucleaire splijtingsreacties in een kernreactor heeft de voering een hogere omgevingstemperatuur dan de bekleding. De bekleding is in ontwerp en functie volkomen onveranderd gebleven van vroegere praktische inzichten voor het ontwerp van kernreactoren. Het materiaal met groot smeervermogen werkt als een tussenvlak tussen de voering en de bekleding, waardoor wrijving en lokale hoge spanningen op de bekleding worden verminderd. Voorkeursmeermaterialen omvatten grafiët, molybdeen disulfide en andere anorganische verbindingen met een gelaagde kristallijne structuur. De onder-

7414266

havige uitvinding heeft het opvallende voordeel dat geen materiaal met groot smeervermogen (in het bijzonder geen koolstofhoudend materiaal) in contact is met de nucleaire brandstof tijdens nucleaire splijttingskettingreacties.

5 De onderhavige uitvinding zal hieronder aan de hand van enige in de figuren der bijgaande tekening nader worden toegelicht.

10 Figuur 1 stelt een doorsnede voor, gedeeltelijk weggesneden, van een nucleair brandstofsamenstel bevattende nucleaire brandstofelementen vervaardigd in overeenstemming met de onderhavige uitvinding;

figuur 2 stelt een aanzicht voor van een nucleair brandstofelement volgens de uitvinding, waarbij geleidelijk van sommige onderdelen stukken zijn weggelaten; en

15 figuur 3 stelt een doorsnede voor op vergrote schaal van het nucleaire brandstofelement van figuur 2, waarin een verdere illustratie gegeven is van de onderhavige uitvinding.

Onder verwijzing thans in het bijzonder naar figuur 1 is daarin weergegeven een gedeelte van een doorsnede van 20 een nucleair brandstofsamenstel 10. Dit brandstofsamenstel bevat een buisvormig stroomkanaal 11 van in het algemeen vierkante doorsnede, dat aan het bovineinde ervan voorzien is van een hijsbeugel 12 en aan het ondereinde ervan een neusstuk (niet-weergegeven omdat het onderste gedeelte van het samen- 25 stel 10 weggelaten is). Het bovineinde van het kanaal 11 is open bij 13 en het ondereinde van het neusstuk is voorzien van stromingsopeningen voor een koelmiddel. Een rangschikking van brandstofelementen 14 is omsloten door het kanaal 11 en wordt daarin ondersteund door middel van een bovenste eind- 30 plaat 15 en een onderste eindplaat (niet-weergegeven omdat het onderste gedeelte is weggelaten). Het vloeibare koelmiddel treedt gewoonlijk binnen via de openingen in het ondereinde van het neusstuk, stroomt naar boven rondom de brandstofelementen 14, en treedt uit aan de bovenste uitlaat 13 35 in een gedeeltelijk dampvormige toestand voor kookreactoren

7414266



of in een niet-dampvormige toestand voor onder druk gebrachte reactoren bij hoge temperatuur.

De nucleaire brandstofelementen of staven 14 zijn aan hun einden afgedicht door middel van eindstoppen 18, die gelast zijn aan de bekleding 17, welke koppen 19 kunnen bezitten om de montage van de brandstofstaaf in het samenstel te vergemakkelijken. Een lege ruimte 20 is aanwezig aan het ene einde van het brandstofelement om longitudinale uitzetting van het brandstofmateriaal en verzameling van uit het brandstofmateriaal vrijgekomen gassen mogelijk te maken. Een vasthoudmiddel 24 voor nucleair brandstofmateriaal in de vorm van een schroeforgaan is aangebracht in de ruimte 20 om weerstand te bieden tegen axiale beweging van de tablettenkolom, in het bijzonder tijdens het hanteren en transporteren van het brandstofelement.

Het brandstofelement is zodanig ontworpen, dat het een uitstekend thermisch contact verschaft tussen de brandstofbekleding en het brandstofmateriaal, een minimum aan parasitaire neutronenabsorptie en weerstand tegen buigen en trillen, dat nu en dan veroorzaakt wordt door het met hoge snelheid stromen van het koelmiddel.

Een in overeenstemming met de onderhavige uitvinding geconstrueerd nucleair brandstofelement of staaf 14 is weergegeven in figuur 2, waarin een aanzicht getoond wordt, waarbij van de verschillende onderdelen geleidelijk steeds grotere stukken zijn weggelaten. Het brandstofelement omvat een kern of centraal cilindrisch gedeelte van nucleair brandstofmateriaal 16, hier weergegeven als een groot aantal brandstof-tabletten van splijtbaar en/of kweekmateriaal geplaatst binnen een constructieve bekleding of houder 17. In bepaalde gevallen kunnen de brandstof-tabletten diverse vormen hebben zoals cilindrische of bolvormige tabletten, en in andere gevallen kunnen verschillende brandstofvormen zoals korrelvormige brandstof worden gebruikt. De fysische vorm van de brandstof is irrelevant voor de onderhavige uitvinding. Diverse nucleaire

7414266

brandstofmaterialen kunnen worden gebruikt, waaronder uranium-  
verbindingen, plutoniumverbindingen, thoriumverbindingen en  
mengsels hiervan. Een voorkeursbrandstof is uraniumdioxide  
of een mengsel bevattende uraniumdioxide en plutoniumdioxide.

5

Onder verwijzing thans naar figuren 2 en 3 wordt  
het nucleaire brandstofmateriaal 16, dat de centrale kern van  
het brandstofelement 14 vormt, omgeven door een zeer reactieve  
voering 21 met een kleine neutronenabsorptiedoorsnede. De  
voering dient als een voorkeursafvoer of reactieplek voor reac-  
10 tie met vluchtige onzuiverheden of splijtingsprodukten binnen  
het nucleaire brandstofelement en dient op deze wijze om de  
bekleding 17 te beschermen tegen blootstelling aan en aanpas-  
sing door de vluchtige onzuiverheden of splijtingsprodukten  
binnen het nucleaire brandstofelement. Tijdens nucleaire  
15 splijtingsreacties in een kernreactor bezit de voering een  
hogere omgevingstemperatuur dan de bekleding, en bij voorkeur  
bestaat de voering uit zirconium of een zirconiumlegering.  
Andere voor gebruik als voering geschikte materialen omvatten  
niobium en niobiumlegeringen. De dikte van de voering is zo  
20 gekozen, dat zij groter is dan de langste afstand, waarover  
een splijtingsprodukt kan terugstuiten, maar minder dan de  
stroomspleet in bestaande nucleaire brandstofelementen tussen  
de bekleding en het nucleaire brandstofmateriaal. De werktem-  
peratuur van het nucleaire brandstofelement ligt boven de  
25 temperatuur, waarbij een eventuele opmerkelijke beschadiging  
door neutronenbestraling aan de voering optreedt, waarbij  
voorts de voering taai is, een hoge bewerkingshardingscoëf-  
ficiënt bezit en een hoge weerstand tegen beginvorming en  
voortplanting van scheurtjes.

30

De voering 21 is omgeven door een deklaag of opbreng-  
laag 22 van een materiaal met groot smerend vermogen en de  
laag 22 is omgeven door de bekleding 17. Het materiaal met  
groot smerend vermogen maakt een gemakkelijke montage van het  
brandstofelement mogelijk, doordat het werkt als een smeer-  
35 middel om het passen van de voering in de bekleding mogelijk

7414286

te maken. De laag 22 van materiaal met groot smerend vermogen kan de vorm hebben van een opbrenglaag aan het uitwendige oppervlak van de voering 21 (d.w.z. het oppervlak van de voering 21, dat gekeerd is naar de bekleding 17), of een opbrenglaag op het inwendige oppervlak van de bekleding 23, of een holle cilinder aangebracht tussen de voering en de bekleding. Daarnaast kan de laag 22 de vorm hebben van een holle cilindrische folie of een folie, die gewikkeld is ter vorming van een holle cilinder en in staat is om binnen de bekleding te worden ingebracht. Het materiaal met groot smerend vermogen kan gekozen worden uit materialen zoals grafiet en anorganische verbindingen, die een gelaagde kristallijne structuur bezitten, zoals molybdeendisulfide of andere materialen, die speciale eigenschappen hebben, welke de wrijving met de brandstofbekleding verminderen. Het de voorkeur verdienende smerende materiaal, dat bij de onderhavige uitvinding gebruikt wordt, is grafiet.

De bekleding 17 is een metalen houder, die dient om contact en chemische reacties tussen de nucleaire brandstof en het reactorcoolmiddel en/of moderator te voorkomen en dient tevens om te voorkomen, dat de radio-actieve splijtingsproducten, die tijdens nucleaire splijtingsreacties in de nucleaire brandstof gevormd worden, in het reactorcoolmiddel en/of moderator kunnen terechtkomen.

De volgende afmetingen worden gegeven bij wijze van voorbeeld van voorkeursafmetingen en hebben niet het doel de omvang van de uitvinding te beperken. Hun nucleair brandstofelement heeft een langwerpige bekleding of houder in het bereik van circa 38 cm tot circa 432 cm in lengte en ongeveer 7.69 mm tot ongeveer 12.78 mm in inwendige diameter en een dikte van ongeveer 0,25 mm tot ongeveer 1,78 mm. Een lichaam van nucleair brandstofmateriaal wordt aangebracht in en vult gedeeltelijk de houder onder vorming van een inwendige ruimte bij de ene uitvoeringsvorm, waarbij de nucleaire brandstof de vorm heeft van tabletten met een diameter in het bereik van

7414266

circa 7.62 mm tot circa 12.70 mm en een tabletlengte van circa 5.1 mm tot ongeveer 22.9 mm. Het nucleaire brandstoflichaam verlaat een holte aan het ene einde van de houder en een vasthoudmiddel voor het nucleaire brandstofmateriaal wordt geplaatst in de holte. Een holle, cilindrische, metalen voering met een geringe neutroneninvangdoorsnede, welke een inwendige diameter in het bereik van ongeveer 7.65 mm tot ongeveer 12.72 mm bezit en een dikte in het bereik van circa 13 micron tot ongeveer 38 micron wordt geplaatst tussen het brandstoflichaam en de bekleding. Een laag materiaal van groot smerend vermogen wordt geplaatst tussen de bekleding en de voering en de laag bezit een dikte in het bereik van ongeveer 1,3 micron tot circa 12,7 micron.

De uitvinding omvat een werkwijze voor het vervaardigen van een nucleair brandstofelement, waarbij een laag materiaal van groot smerend vermogen aangebracht wordt nabij het oppervlak van een houdervormige bekleding, die aan het ene einde open is, terwijl een metalen voering met een kleine neutroneninvangdoorsnede ingebracht wordt in de vorm van een holle cilinder van hetzij naadloze folie of folie met overlapsnaad binnen de laag materiaal met groot smerend vermogen, waarbij de houdervormige bekleding met nucleair brandstofmateriaal gevuld wordt, terwijl aan het open einde een holte gelaten wordt, waarbij een vasthoudmiddel in de holte gebracht wordt voor het vasthouden van het nucleaire brandstofmateriaal, terwijl een eindsluiting opgebracht wordt op het open einde van de houder, terwijl de holte in verbinding gelaten wordt met de nucleaire brandstof,, en vervolgens het einde van de houdervormige bekleding gebonden wordt aan deze eindsluiting onder vorming van een hechte afdichting daartussen.

Het materiaal met groot smerend vermogen kan eveneens worden aangebracht als een laag aan het uitwendige oppervlak van de voering in plaats van aan de binnenzijde van de bekleding.

De onderhavige uitvinding biedt diverse voordelen,

7414266

5 waaronder het bevorderen van een lange werkzame levensduur voor het nucleaire brandstofelement, omvattende het reduceren van waterstofbrosheid van de bekleding, het tot een minimum terugbrengen van lokale spanningen, het tot een minimum terug-  
10,1' brengen van corrosie door spanning en rek, en het verminderen van de kans van een breuk in de bekleding. De uitvinding voorkomt voorts uitzetting (of zwellings) van de nucleaire brandstof, waardoor het in rechtstreeks contact zou komen met de bekleding, en dit voorkomt lokale spanningen in de  
15 bekleding, de beginvorming of versnelling van spanningscorrosie van de bekleding en binding van de nucleaire brandstof aan de bekleding.

20 Een ander treffend voordeel van de onderhavige uitvinding is de afwezigheid van rechtstreeks contact tussen het materiaal met groot smerend vermogen en het nucleaire brandstofmateriaal, waardoor aldus de mogelijkheid vermeden wordt van een reactie opwekkende gassen zoals koolmonoxide en kooldioxide, wanneer het materiaal met groot smerend vermogen grafiët is en overmatige zwellings introduceert of inwendige gasdruk in het brandstofelement.

25 De eigenschappen van de voering kunnen onafhankelijk worden gekozen, en dit maakt, dat het ontwerp van de eigenschappen van de bekleding onafhankelijk is van elke functie anders dan dat zij dient als houder en een goede warmtegeleidingsvermogen moet bezitten. In het bijzonder kan de  
30 samenstelling en textuur van de voering zodanig gekozen worden, dat de doeltreffendheid van de voering om de bekleding te beschermen tegen splijttingsprodukten en gasachtige onzuiverheden in het nucleaire brandstofelement maximaal te maken. Tevens kunnen de samenstelling, textuur en temperatuur van de voering gemakkelijk gekozen worden (onafhankelijk van de bekleding) om te verzekeren dat de voering taai is. De voering kan eveneens zodanig gekozen worden, dat zij een hoge bewerkingshardingscoëfficiënt bezit en een hoge weerstand tegen begin-  
35 vorming en voortplanting van scheurtjes dan mogelijk is voor

7414266

VOORBEELD 2

De procedure van Voorbeeld 1 werd herhaald om ver-  
scheidene nucleaire brandstofelementen te monteren met uit-  
zondering dat het grafiet werd aangebracht aan het binnen-  
5 oppervlak van de Zircaloy-2 bekleding en dat een onbedekt  
niobiumfolie in de bekleding werd ingebracht. De bekleding  
had een uitwendige diameter van 12,52 mm en een dikte van  
0,09 mm, terwijl de dikte van de grafietbedekking in het be-  
reik lag van 2,5 micron tot 12,7 micron. De dikte van de  
10 niobiumfolie was 12,7 micron. Zoals in Voorbeeld 1 waren de  
gemonteerde nucleaire brandstofelementen voorzien van daar-  
aan bevestigde instrumenten om veranderingen te meten in  
de lengte van de bekleding tijdens de reactorwerking. De  
beproeving van de brandstofelementen was zeer gunstig, en een  
15 vergelijking van de veranderingen inde axiale lengte uitge-  
voerd aan het brandstofelement voorzien van de bedekte bekle-  
ding en voering, met een brandstofelement, dat niet voorzien  
was van de voering of de bedekte bekleding, toonde aan, dat  
het brandstofelement met de metalen voering en bedekte be-  
20 kleding een verminderde wisselwerking tussen brandstof en  
bekleding had.

C O N C L U S I E S

1. Nucleair brandstofelement bevattende een langwerpige  
25 houdervormige bekleding, een laag materiaal met groot smeer-  
vermogen aangebracht in en grenzend aan de houdervormige be-  
kleding, een metalen voering met kleine neutroneninvangdoor-  
snede aangebracht in de houdervormige bekleding en grenzend  
aan de laag, een centrale kern van een lichaam van nucleair  
30 brandstofmateriaal aangebracht in de houder, welke deze gedeel-  
telijk vult onder vorming van een inwendige holte in de houder,  
een eindsluiting integraal bevestigd en afgedicht aan elk  
einde van de houder, en een in de holte geplaatst vasthoudmid-  
del voor brandstofmateriaal.
- 35 2. Nucleair brandstofelement volgens conclusie 1, met

7414266

het kenmerk, dat het vasthoudmiddel voor het nucleaire brandstofmateriaal een schroefvormig orgaan is.

3. Nucleair brandstofelement volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat de laag materiaal met groot smerend vermogen een opbrenglaag is aan het binnenoppervlak van de  
5 bekleding.

4. Nucleair brandstofelement volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat de laag materiaal met groot smerend vermogen een opbrenglaag is aan het buitenoppervlak van de  
10 metalen voering.

5. Nucleair brandstofelement volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat de laag materiaal met groot smerend vermogen een holle cilinder is, die aangebracht is tussen de voering en de bekleding.

15 6. Nucleair brandstofelement volgens één der conclusies 1-5, met het kenmerk, dat de laag materiaal met groot smerend vermogen grafiet of molybdeendisulfide is.

7. Nucleair brandstofelement volgens één der conclusies 1-6, met het kenmerk, dat het nucleaire brandstofmateriaal gevormd wordt door uraniumverbindingen, plutoniumverbindingen  
20 of mengsels ervan.

8. Nucleair brandstofelement volgens één der conclusies 1-7, met het kenmerk, dat het nucleaire brandstofmateriaal bestaat uit uraniumdioxide.

25 9. Nucleair brandstofelement volgens één der conclusies 1-7, met het kenmerk, dat het nucleaire brandstofmateriaal een mengsel is bestaande uit uraniumdioxide en plutoniumdioxide.

10. Nucleair brandstofelement volgens één der conclusies 1-9, met het kenmerk, dat de metalen voering bestaat uit  
30 zirconium, zirconiumlegeringen, niobium of niobiumlegeringen.

11. Nucleair brandstofelement volgens één der conclusies 1-10, met het kenmerk, dat de houdervormige bekleding zirconium of een zirconiumlegering is.

35 12. Werkwijze voor het vervaardigen van een nucleair brandstofelement volgens één der voorafgaande conclusies,

7414266

waarbij een laag materiaal met groot smerend vermogen aange-  
bracht wordt in een langwerpige houdervormige bekleding,  
die aan het ene einde open is, zodat de laag grenst aan de  
houdervormige bekleding, waarna een metalen voering met ge-  
5 ringe neutroneninvangdoorsnede in de houdervormige bekleding  
ingebracht wordt, zodat de voering grenst aan de laag, waar-  
bij de houdervormige bekleding gedeeltelijk gevuld wordt met  
een centrale kern van nucleair brandstofmateriaal, zodat  
het brandstofmateriaal grenst aan de metalen voering en een  
10 holte openlaat aan het open einde van de houder, terwijl een  
vasthoudmiddel voor het vasthouden van het nucleaire brand-  
stofmateriaal in de holte aangebracht wordt, waarna een eind-  
sluiting aangebracht wordt op het open einde van de houder-  
vormige bekleding, terwijl de holte inverbinding gelaten wordt  
15 met de nucleaire brandstof, en vervolgens het einde van de  
houdervormige bekleding gebonden wordt aan de eindafsluiting  
onder vorming van een hechte afdichting daartussen.

13. Werkwijze volgens conclusie 12, met het kenmerk,  
dat het vasthoudmiddel voor het tegenhouden van het nucleaire  
20 brandstofmateriaal een schroefvormig orgaan is.

14. Werkwijze volgens conclusie 12 of 13, met het kenmerk,  
dat de laag materiaal van groot smerend vermogen een opbrenglaag  
is aan het binnenoppervlak van de bekleding.

15. Werkwijze volgens conclusie 12 of 13, met het ken-  
25 merk, dat de laag materiaal van groot smerend vermogen een  
opbrenglaag is aan het buitenoppervlak van de metalen voering.

16. Werkwijze volgens conclusie 12 of 13, met het ken-  
merk, dat de laag materiaal van groot smerend vermogen een  
holle cilinder is, die aangebracht is tussen de voering en de  
30 bekleding.

17. Werkwijze volgens één der conclusies 12-16, met het  
kenmerk, dat de laag materiaal van groot smerend vermogen  
grafiet of molybdeendisulfide is.

18. Werkwijze volgens één der conclusies 12-17, met  
35 het kenmerk, dat het nucleaire brandstofmateriaal gevormd wordt  
door uraniumverbindingen, plutoniumverbindingen of mengsels

741 4266



ervan.

19. Werkwijze volgens één der conclusies 12-18, met het kenmerk, dat het nucleaire brandstofmateriaal bestaat uit uraniumdioxide.

5 20. Werkwijze volgens één der conclusies 12-18, met het kenmerk, dat het nucleaire brandstofmateriaal een mengsel is bestaande uit uraniumdioxide en plutoniumdioxide.

10 21. Werkwijze volgens één der conclusies 12-20, met het kenmerk, dat de metalen voering bestaat uit zirconium, zirconiumlegeringen, niobium of niobiumlegeringen.

22. Werkwijze volgens één der conclusies 12-21, met het kenmerk, dat de houdervormige bekleding zirconium of een zirconiumlegering is.

15

7414266

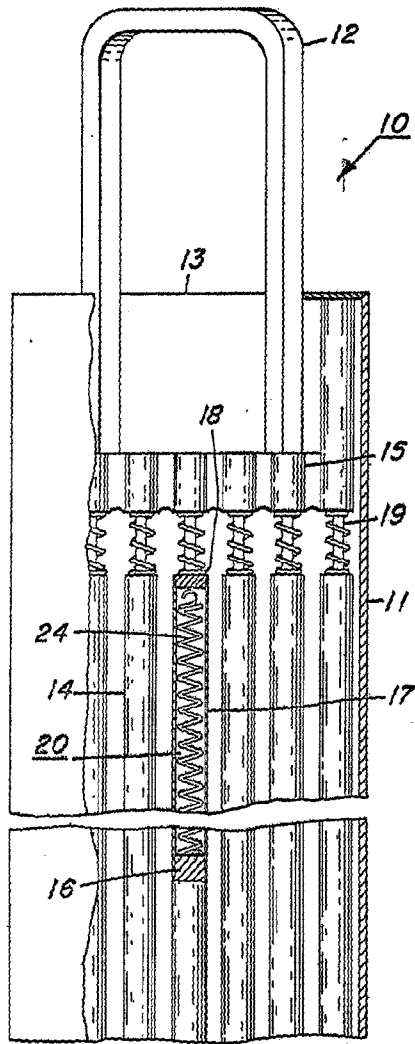


Fig. 1

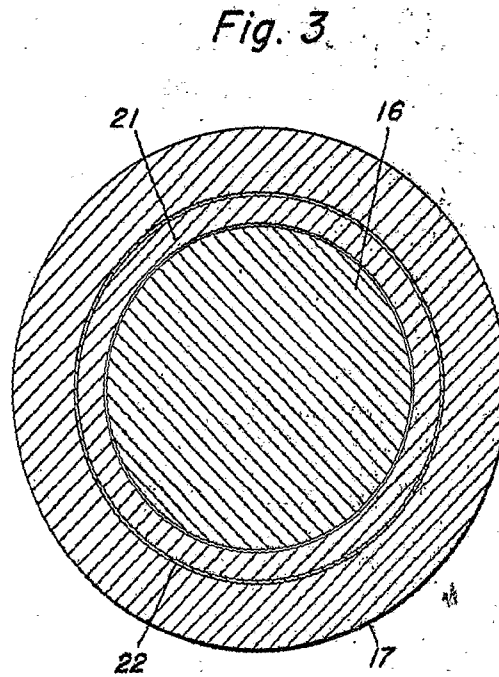


Fig. 3

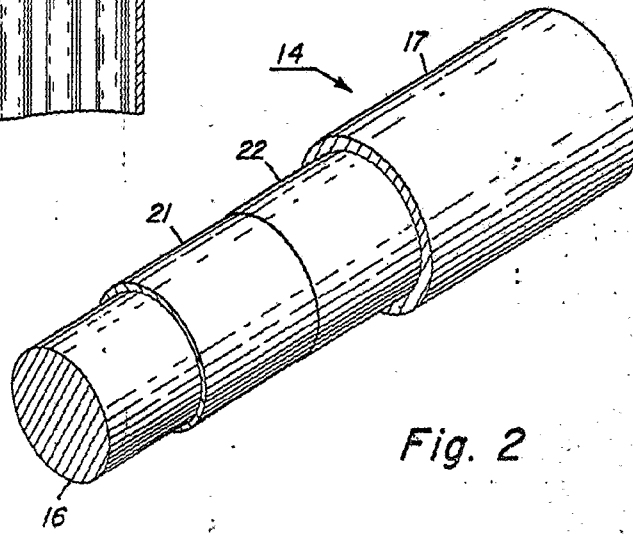


Fig. 2

7414266