

51

Int. Cl. 2:

G 21 C 3/20

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



DT 25 49 971 A1

11

Offenlegungsschrift 25 49 971

21

Aktenzeichen: P 25 49 971.2

22

Anmeldetag: 7. 11. 75

43

Offenlegungstag: 13. 5. 76

30

Unionspriorität:

32 33 31

11. 11. 74 USA 522766

54

Bezeichnung: Kernbrennstoffelement

71

Anmelder: General Electric Co., Schenectady, N.Y. (V.St.A.)

74

Vertreter: Schüler, H., Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 6000 Frankfurt

72

Erfinder: Armijo, Joseph Sam, Saratoga, Calif. (V.St.A.)

DT 25 49 971 A1

Dr. rer. nat. Horst Schüler
PATENTANWALT

2549971

Bitte neue Telefonnummer beachten!
Please note new Telephone number!

6 Frankfurt/Main 1, 6. Nov. 1975
Niddastraße 52 HS/be
Telefon (0611) 235555
Telex: 04-16759 mapat d
Postscheck-Konto: 2824 20-602 Frankfurt/M.
Bankkonto: 225/0389
Deutsche Bank AG, Frankfurt/M.

3703-24-AT-F3999

General Electric Company
1 River Road
Schenectady, N.Y./U.S.A.

Kernbrennstoffelement

Die Erfindung betrifft allgemein eine Verbesserung von Kernbrennstoffelementen zur Verwendung im Spaltraum bzw. Kern von Kernspaltungsreaktoren, und sie betrifft speziell ein verbessertes Kernbrennstoffelement mit einer zusammengesetzten behälterartigen Umhüllung, die eine Trägersubstanz, eine Metallschutzschicht (als Sperre aus Metall), die an die innere Oberfläche der Trägersubstanz metallurgisch gebunden ist, und eine innere Schicht, die metallurgisch an die Metallschutzschicht gebunden ist, aufweist.

609820/0832

Es werden gegenwärtig Kernreaktoren entworfen, gebaut und betrieben, bei denen der Kernbrennstoff in Brennstoffelementen enthalten ist, die verschiedene geometrische Formen besitzen können, wie z.B. die Form von Platten, Rohren oder Stäben. Das Brennstoffmaterial ist üblicherweise in einem korrosionsbeständigen, nicht reaktiven, wärmeleitenden Behälter oder Umhüllung eingeschlossen. Die Elemente sind in einem Gitter mit festen Abständen voneinander in einem Kühlmittel-Durchflußkanal oder Kühlmittel-Durchflußbereich zusammen angeordnet, wobei sie eine Brennstoffkassette oder -einheit bilden, und ausreichend viele Brennstoffkassetten sind kombiniert, um die Kernspaltungs-Kettenreaktionseinheit oder den Reaktorkern zu bilden, der in der Lage ist, eine selbständige Spaltungsreaktion aufrecht zu erhalten. Der Kern selbst ist wiederum in einem Reaktorgefäß eingeschlossen, durch das ein Kühlmittel geleitet wird.

Die Umhüllung dient verschiedenen Zwecken, und zwei Hauptzwecke sind: 1. Kontakt und chemische Reaktionen zwischen dem Kernbrennstoff und dem Kühlmittel oder dem Moderator, wenn ein Moderator vorhanden ist, oder mit beiden, wenn sowohl das Kühlmittel als auch der Moderator vorhanden sind, zu verhindern, und 2. zu verhindern, daß die radioaktiven Spaltprodukte, von denen einige Gase sind, von dem Brennstoff in das Kühlmittel oder in den Moderator oder in beide, wenn sowohl das Kühlmittel als auch der Moderator vorhanden sind, abgegeben werden. Übliche Umhüllungsmaterialien sind rostfreier Stahl, Aluminium und seine Legierungen, Zirkon und seine Legierungen, Niob, gewisse Magnesiumlegierungen und andere. Das Versagen der Umhüllung, d.h. ein Verlust an Leckdichtigkeit, kann das Kühlmittel oder den Moderator und die damit verbundenen Systeme mit radioaktiven langlebigen Produkten bis zu einem Ausmaß kontaminieren, das den Betrieb der Anlage beeinträchtigt.

Bei der Herstellung und beim Betrieb von Kernbrennstoffelementen, bei denen bestimmte Metalle und Legierungen als Umhüllungsmaterial verwendet werden, sind Probleme aufgetreten, die auf mechanische oder chemische Reaktionen dieser Umhüllungsmaterialien unter bestimmten Umständen zurückzuführen sind. Zirkon und seine Legierungen sind unter normalen Umständen hervorragende Kernbrennstoffumhüllungen, da sie niedrige Neutronenabsorptionsquerschnitte besitzen und bei Temperaturen unterhalb etwa 398°C (etwa 750°F) in Anwesenheit von entmineralisiertem Wasser oder Dampf, die üblicherweise als Reaktorkühlmittel und -moderatoren verwendet werden, fest, dehnbar, äußerst stabil und nicht reaktiv sind.

Das Betriebsverhalten von Brennstoffelementen hat jedoch ein Problem bezüglich des Sprödigkeitsbrechens der Umhüllung aufgrund der kombinierten Wechselwirkungen zwischen dem Kernbrennstoff, der Umhüllung und der während der Kernspaltungsreaktionen erzeugten Spaltprodukte ergeben. Es wurde gefunden, daß dieses unerwünschte Betriebsverhalten durch lokale, mechanische Spannungen aufgrund unterschiedlicher Brennstoff-Umhüllungs-Ausdehnung verstärkt wird (Spannungen in der Umhüllung sind auf Risse im Kernbrennstoff lokalisiert). Von dem Kernbrennstoff werden korrosive Spaltprodukte freigegeben, und diese sind an den Schnittbereichen der Brennstoffrisse mit der Umhüllungsoberfläche vorhanden. Spaltprodukte werden in dem Kernbrennstoff während der Kettenspaltreaktion im Betrieb eines Kernreaktors erzeugt. Die lokale Spannung wird durch hohe Reibung zwischen dem Brennstoff und der Umhüllung erhöht.

Innerhalb der Begrenzung eines abgeschlossenen Brennstoffelements kann durch die langsame Reaktion zwischen der Umhüllung und dem restlichen Wasser innerhalb der Umhüllung

Wasserstoffgas gebildet werden, und dieses Wasserstoffgas kann bis zu Mengen aufgebaut werden, die unter bestimmten Bedingungen zu lokalisierter Hydrierung der Umhüllung führen, die ihrerseits mit lokaler Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften der Umhüllung verbunden ist. Die Umhüllung wird auch in einem weiten Temperaturbereich nachteilig durch Gase wie Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenmonoxyd und Kohlendioxyd angegriffen.

Die Zirkonumhüllung eines Kernbrennstoffelementes ist während der Bestrahlung in einem Kernreaktor einem oder mehreren der oben angegebenen Gase und Spaltprodukten ausgesetzt, und dies trifft trotz der Tatsache ein, daß diese Gase nicht in dem Reaktorkühlmittel oder -moderator vorhanden sein dürften, und auch so weit wie möglich während der Herstellung der Umhüllung und des Brennstoffelementes aus der Umgebungsatmosphäre ausgeschlossen sein sollten. Gesinterte, hochschmelzende und keramische Zusammensetzungen, wie z.B. Urandioxyd und andere Zusammensetzungen, die als Kernbrennstoff verwendet werden, setzen meßbare Mengen der vorgenannten Gase beim Erhitzen frei, wie dies z.B. bei der Brennstoffelementherstellung der Fall ist, und sie geben ferner während der Bestrahlung Spaltprodukte ab. Spezielle, hochschmelzende oder feuerfeste und keramische Zusammensetzungen, wie z.B. Urandioxydpulver und andere Pulver, die als Kernbrennstoff verwendet werden, sind dafür bekannt, daß sie sogar größere Mengen der oben genannten Gase während der Bestrahlung abgeben. Diese abgegebenen Gase sind in der Lage, mit der den Kernbrennstoff enthaltenden Zirkonumhüllung zu reagieren.

Im Hinblick auf diese Tatsachen ist es wünschenswert, das Angreifen der Umhüllung durch Wasser, Wasserdampf und andere Gase, insbesondere durch Wasserstoff, zu minimalisieren, die mit der Umhüllung von der inneren Brennstoffelementseite

her während der Zeit, die das Brennstoffelement in Kernkraftanlagen im Betrieb verwendet wird, reagieren. Ein Versuch in dieser Richtung bestand darin, Materialien zu finden, die chemisch schnell mit dem Wasser, dem Wasserdampf und anderen Gasen reagieren, um diese aus dem Inneren der Umhüllung zu entfernen, und derartige Materialien werden Getter genannt.

Ein anderer Versuch bestand darin, daß Kernbrennstoffmaterial mit einer Keramik zu überziehen, um zu verhindern, daß Feuchtigkeit mit dem Kernbrennstoffmaterial in Berührung kommt, wie es in dem US-Patent 3 108 936 beschrieben ist. In dem US-Patent 3 085 059 wird ein Brennstoffelement beschrieben, das ein Metallgehäuse aufweist, in dem ein oder mehrere Pellets aus spaltbarem, keramischem Material und eine Schicht aus glasartigem Material enthalten ist, welches an die keramischen Pellets so gebunden ist, daß sich die Schicht zwischen dem Gehäuse und dem Kernbrennstoff befindet, um gleichmäßig gute Wärmeleitfähigkeit von den Pellets an das Gehäuse zu gewährleisten. In dem US-Patent 2 873 238 werden mit einem Mantel versehene, spaltbare Klümpchen aus Uran in einem Metallgehäuse beschrieben, wobei die Schutzmäntel oder Schutzabdeckungen für die Klümpchen Zink-Aluminium-Verbundschichten sind. Im US-Patent 2 849 387 wird ein mit einem Mantel versehener, spaltbarer Körper beschrieben, der eine Vielzahl ummantelte Körperabschnitte aus Kernbrennstoff mit offenen Enden enthält, die in ein geschmolzenes Bad aus Bindungsmaterial getaucht worden sind, das eine wirksame, thermisch leitfähige Verbindung zwischen den Urankörperabschnitten und dem Behälter (oder der Umhüllung) liefert. Der Überzug wird als irgendeine Metallegierung mit guter Wärmeleitfähigkeit unter Angabe von Beispielen, die Aluminium-Silizium- und Zink-Aluminium-Legierungen umfassen, beschrieben. In der japanischen Patentpublikation Nr. 47-46559 vom

24. November 1972 wird das Einbetten einzelner (diskreter) Kernbrennstoffteilchen in eine kohlenstoffhaltige Matrix zu einem Matrix-Brennstoff-Verbundgefüge durch Überziehen der Brennstoffteilchen mit einer hochdichten, glatten, kohlenstoffhaltigen Beschichtung um die Pellets beschrieben. Noch ein weiterer Überzug ist in der japanischen Patentpublikation Nr. 47-14200 beschrieben, bei der der Überzug von einer von zwei Gruppen von Pellets aus einer Schicht aus Siliziumcarbid besteht und die andere Gruppe mit einer Schicht aus pyrolytisch hergestelltem Kohlenstoff oder Metallcarbid beschichtet ist.

Die Beschichtung eines Kernbrennstoffmaterials bringt Betriebssicherheitsprobleme mit sich, die darin bestehen, daß das Erzielen gleichmäßiger Überzüge ohne Fehler schwierig ist. Ferner können durch die Verschlechterung des Überzugs Probleme bezüglich der Langzeit-Leistungsfähigkeit des Kernbrennstoffmaterials auftreten.

In der US-Patentanmeldung Ser. No. 330,152 vom 6. Februar 1973 wird ein Verfahren zum Verhindern von Korrosion von Kernbrennstoffumhüllungen beschrieben, das aus der Zugabe eines Metalles, wie z.B. Niob, zu dem Brennstoff besteht. Der Zusatz kann in Form eines Pulvers vorliegen, vorausgesetzt, daß die folgende Brennstoffverarbeitung das Metall nicht oxidiert, oder in dem Brennstoffelement in Form von Drähten oder Folien oder in anderer Form in, um oder zwischen den Brennstoffpellets angeordnet werden.

In der Druckschrift GEAP-4555 vom Februar 1964 wird eine zusammengesetzte Umhüllung aus einer Zirkonlegierung mit einer inneren Auskleidung aus rostfreiem Stahl beschrieben, der metallurgisch mit der Zirkonlegierung verbunden ist, und die zusammengesetzte Umhüllung wird durch Extrudieren eines

hohlen Barrens der Zirkonlegierung mit einer inneren Auskleidung aus rostfreiem Stahl hergestellt. Diese Umhüllung weist den Nachteil auf, daß sich in dem rostfreien Stahl spröde Phasen bilden, und die rostfreie Stahlschicht bringt Neutronenabsorptionsfolgen mit sich, die etwa zehn- bis fünfzehnmal so groß sind wie bei einer Zirkonlegierungsschicht der gleichen Dicke.

Im US-Patent 3 502 549 wird ein Verfahren zum Schützen von Zirkon und seinen Legierungen durch elektrolytische Abscheidung von Chrom beschrieben, um ein zusammengesetztes Material zu schaffen, das für Kernreaktoren brauchbar ist. Ein Verfahren zur elektrolytischen Abscheidung von Kupfer auf Zirkonlegierung-Oberflächen und nachfolgende Wärmebehandlung für den Zweck, Oberflächendiffusion des elektrolytisch abgeschiedenen Metalles zu erzielen, wird in *Energia Nucleare*, Band 11, Nr. 9 (September 1964) auf den Seiten 505 bis 508 beschrieben. In *Stability and Compatibility of Hydrogen Barriers Applied to Zirconium Alloys* von F. Brossa u.a. (European Atomic Energy Community, Joint Nuclear Research Center, EUR 4098e, 1969) werden Verfahren zur Abscheidung verschiedener Überzüge und ihre Wirkung als Wasserstoffdiffusionshindernis zusammen mit einer Al-Si-Beschichtung als dem am meisten versprechenden Hindernis gegen Wasserstoffdiffusion beschrieben. Verfahren zum Elektrolattieren von Nickel auf Zirkon und Zirkon-Zinn-Legierungen und Wärmebehandlung dieser Legierungen, um Legierungsdiffusionsbindungen zu erzeugen, werden in *Electroplating on Zirconium and Zirconium-Tin* von W.C. Schickner u.a. beschrieben (BM1-757, Technical Information Service, 1952). Im US-Patent 3 625 821 wird ein Brennstoffelement für einen Kernreaktor beschrieben, das ein Brennstoffumhüllungsrohr besitzt, dessen innere Oberfläche mit einem festhaltenden Metall mit niedri-

gem Neutroneneinfangsquerschnitt, wie z.B. Nickel, beschichtet ist und fein dispergierte Teilchen aus einem brennbaren Gift darin angeordnet enthält. Im Reactor Development Program Progress Report vom August 1973 (ANL-RDP-19) wird eine Anordnung aus chemischem Getter in einer sich aufbrauchenden Schicht aus Chrom auf der inneren Oberfläche einer Umhüllung aus rostfreiem Stahl beschrieben.

Ein weiterer Versuch besteht darin, ein Hindernis oder eine Sperre zwischen das Kernbrennstoffmaterial und die Umhüllung, die das Kernbrennstoffmaterial hält, einzufügen, wie es im US-Patent 3 230 150 (Kupferfolie), in der Deutschen Auslegeschrift 1 238 115 (Titanschicht), in dem US-Patent 3 212 988 (Schicht aus Zirkon, Aluminium oder Beryllium), dem US-Patent 3 018 238 (Sperre aus kristallinem Kohlenstoff zwischen dem UO_2 und der Zirkonumhüllung) und dem US-Patent 3 088 893 (Folie aus rostfreiem Stahl) beschrieben ist. Während sich das Hindernis- oder Sperrenkonzept als vielversprechend erweist, werden in einigen der vorstehenden Druckschriften inkompatible Materialien vorgeschlagen, die entweder mit dem Kernbrennstoff (beispielsweise kann sich Kohlenstoff mit Sauerstoff von dem Kernbrennstoff verbinden) oder mit der Umhüllung (z.B. können Kupfer und andere Metalle mit der Umhüllung reagieren, wobei die Eigenschaften der Umhüllung verändert werden) oder mit der Kernspaltungsreaktion (beispielsweise durch Wirkung als Neutronenabsorber) unverträglich sind. In keiner der angeführten Druckschriften werden Lösungen des kürzlich aufgezeigten Problems der lokalisierten, chemisch-mechanischen Wechselwirkungen zwischen dem Kernbrennstoff und der Umhüllung angegeben.

Weitere Versuche für das Hindernis- oder Sperrenkonzept sind in der deutschen Patentanmeldung P 25 01 309.6 (hochschmelzendes Metall, wie Molybdän, Wolfram, Rhenium, Niob und

609820/0832

ORIGINAL INSPECTED

Legierungen derselben in Form eines Rohres oder einer Folie in einzelner oder mehrfacher Schicht oder einer Beschichtung auf der inneren Oberfläche der Umhüllung) und in der deutschen Patentanmeldung P 25 01 505.8 (Auskleidung aus Zirkon, Niob oder Legierungen derselben zwischen dem Kernbrennstoff und der Umhüllung mit einer Beschichtung aus einem Material hoher Schmierfähigkeit zwischen der Auskleidung und der Umhüllung) angegeben.

Es bleibt jedoch weiterhin wünschenswert, Kernbrennstoffelemente zu entwickeln, mit denen die oben diskutierten Probleme beseitigt werden können.

Ein besonders wirksames Kernbrennstoffelement für die Verwendung in dem Spaltraum oder Kern eines Kernreaktors besitzt eine zusammengesetzte Umhüllung mit einem Träger, einer Metallschutzschicht in Form einer Sperre aus Metall, die metallurgisch an die innere Oberfläche der Trägersubstanz gebunden ist, und eine innere Schicht, die metallurgisch an die innere Oberfläche der Metallschutzschicht gebunden ist. Der Träger der Umhüllung ist völlig unverändert im Aufbau und in der Wirkungsweise gegenüber der herkömmlichen Praxis für Kernreaktoren und die Trägersubstanz ist aus herkömmlichen Umhüllungsmaterialien, wie z.B. Zirkonlegierungen ausgewählt. Die Metallschutzschicht und die innere Schicht bilden eine Abschirmung oder Sperre zwischen der Trägersubstanz und dem Kernbrennstoffmaterial, das in der Umhüllung festgehalten wird. Die Metallschutzschicht bildet vorzugsweise etwa 1 bis etwa 4 % der Wandstärke der Umhüllung und besteht aus einem Metall mit niedriger Neutronenabsorption, das aus der Gruppe, bestehend aus Niob, Aluminium, Kupfer, Nickel, rostfreiem Stahl und Eisen, ausgewählt ist. Die innere Schicht und die Metallschutzschicht liefern einen

ORIGINAL INSPECTED

609820/0832

bevorzugten Reaktionsbereich für die Reaktion mit flüchtigen Verunreinigungen oder Spaltprodukten, die innerhalb des Kernbrennstoffelementes vorhanden sind, und dienen auf diese Weise als Schutz für die Umhüllung gegen Ausgesetztsein gegen und Angriff durch die flüchtigen Verunreinigungen oder Spaltprodukte. Verfahren zur Herstellung der zusammengesetzten Umhüllung werden ebenfalls angegeben und schließen ein

(1) passendes Einfügen eines Rohres aus dem Schutzmetall innen in einen hohlen Barren aus der Trägersubstanz und eines Rohres aus der inneren Schicht innen in das Metallschutzschichtrohr, explosives Verbinden der Rohre mit dem Barren und Extrudieren des Verbundgefüges, gefolgt von Rohrverkleinerung, (2) passendes Einfügen eines Rohres aus dem Schutzschichtmetall innen in einen hohlen Barren aus der Trägersubstanz und eines Rohres aus der inneren Schutzschicht innen in das Metallschutzschichtrohr, Erhitzen der Rohre und des Barrens unter Druckspannung, um Diffusionsverbindung zwischen den Rohren und dem Barren zu erhalten, und Extrudieren des Verbundgefüges, gefolgt von Rohrverkleinerung, oder (3) passendes Einfügen eines Rohres aus dem Schutzschichtmetall innen in einen hohlen Barren aus der Trägersubstanz und eines Rohres aus der inneren Schicht innen in das Metallschutzschichtrohr und Extrudieren des zusammengesetzten Teiles, gefolgt von Rohrverkleinerung. Diese Erfindung weist den überragenden Vorteil auf, daß die Trägersubstanz der Umhüllung durch die innere Schicht und die Metallschutzschicht gegen Kontakt mit Spaltprodukten, korrosiven Gasen usw. geschützt ist und daß die Metallschutzschicht keinerlei merkliche Neutroneneinfangfolgen, Nachteile für den Wärmeübergang oder Probleme bezüglich eventueller Unverträglichkeit des Brennstoffes mit der Sperrschicht mit sich bringt.

Die Erfindung wird nun auf Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben.

In den beigefügten Zeichnungen zeigt:

Fig. 1 eine teilweise geschnittene Ansicht einer Kernbrennstoffkassette oder -einheit, die Kernbrennelemente enthält, welche gemäß der Erfindung aufgebaut sind, und

Fig. 2 eine vergrößerte Schnittansicht eines in Fig. 1 dargestellten Kernbrennstoffelementes zur Erläuterung der Erfindung.

Es wird nun speziell auf Fig. 1 Bezug genommen. In Fig. 1 ist eine Kernbrennstoffkassette 10 teilweise geschnitten in Schnittansicht dargestellt. Diese Brennstoffkassette 10 besteht aus einem rohrförmigen Durchflußkanal 11 mit allgemein quadratischem Querschnitt, der an seinem oberen Ende mit einem Hehebügel 12 und an seinem unteren Ende mit einem Nasenstück (das nicht dargestellt ist, da der untere Teil der Kassette 10 weggelassen ist) ausgestattet ist. Das obere Ende des Kanals 11 ist bei 13 offen und das untere Ende des Nasenstückes ist mit Öffnungen für den Kühlmitteldurchfluß versehen. Eine Anordnung von Brennstoffelementen oder -stäben 14 ist in dem Kanal 11 eingeschlossen und wird darin mittels einer oberen Endplatte 15 und einer unteren Endplatte (die nicht dargestellt ist, da der untere Teil weggelassen ist) gehalten. Das flüssige Kühlmittel tritt üblicherweise durch die Öffnungen in dem unteren Ende des Nasenstückes ein, fließt um die Brennstoffelemente 14 nach oben und tritt am oberen Auslaß 13 teilweise als Dampf bei Siedereaktoren oder unverdampft bei Druckreaktoren mit einer erhöhten Temperatur

aus.

Die Kernbrennstoffelemente oder -stäbe 14 sind an ihren Enden mittels Endstopfen 18, die an die Umhüllung 17 geschweißt sind, dicht verschlossen, und sie können Bolzen 19 besitzen, um das Anbringen des Brennstoffstabes in der Kassette zu erleichtern. Ein Hohlraum oder freier Raum 20 ist an einem Ende des Elementes vorgesehen, wodurch Längsausdehnung des Brennstoffmaterials und Ansammlung von Gasen, die aus dem Brennstoffmaterial freigesetzt werden, ermöglicht wird. Ein Mittel zum Festhalten des Kernbrennstoffmaterials in Form eines schraubenfederförmigen Gliedes ist in dem freien Raum 20 angeordnet, um eine Bewegungsbegrenzung gegen die axiale Bewegung der Pelletsäule, insbesondere während des Hantierens und des Transports des Brennstoffelementes, zu liefern.

Das Brennstoffelement ist so ausgelegt, daß es einen hervorragenden thermischen Kontakt zwischen der Umhüllung und dem Brennstoffmaterial, ein Minimum an parasitärer Neutronenabsorption und Beständigkeit gegen Biegen und Schwingung aufweist, die gelegentlich durch den Fluß des Kühlmittels mit hoher Geschwindigkeit verursacht wird.

Ein Kernbrennstoffelement oder -stab 14 ist in Fig. 1 in einem Teilschnitt dargestellt, das gemäß der Erfindung aufgebaut ist. Das Brennstoffelement enthält einen Kern oder zentralen, zylindrischen Teil aus Kernbrennstoffmaterial 16, das hier als eine Vielzahl von Brennstoffpellets aus spaltbarem und/oder brutfähigem Material dargestellt ist, das innerhalb einer tragenden Umhüllung oder eines Behälters 17 angeordnet ist. In einigen Fällen können die Brennstoffpellets verschiedene Formen haben, z.B. zylindrische Pellets oder Kugeln sein, und in anderen Fällen können verschiedene

Brennstoffformen, wie z.B. ein aus kleinen Teilchen bestehender Brennstoff verwendet werden. Die physikalische Form des Brennstoffes ist für die Erfindung unwesentlich. Es können verschiedene Kernbrennstoffmaterialien, einschließlich Uranverbindungen, Plutoniumverbindungen, Thoriumverbindungen und Mischungen derselben verwendet werden. Ein bevorzugter Brennstoff ist Urandioxyd oder eine Mischung, die Urandioxyd und Plutoniumdioxyd umfaßt.

Es wird nun auf die Fig. 2 Bezug genommen. Das Kernbrennstoffmaterial 16, das den mittleren Kern des Brennstoffelementes 14 bildet, ist von einer Umhüllung 17 umgeben, die in dieser Erfindung auch als zusammengesetzte Umhüllung bezeichnet wird. Die zusammengesetzte Umhüllung besitzt einen Träger aus einer Trägersubstanz 21, die aus herkömmlichen Umhüllungsmaterialien, wie z.B. rostfreiem Stahl und Zirkonlegierungen, ausgewählt ist, und in einer bevorzugten Ausführungsform dieser Erfindung ist die Trägersubstanz eine Zirkonlegierung, wie z.B. Zirkaloy-2. An die Trägersubstanz 21 ist an deren innerem Umfang eine Metallschutzschicht (als Metallsperre) 22 metallurgisch so gebunden, daß die Metallschutzschicht eine Abschirmung oder Sperre für die Trägersubstanz gegen das Kernbrennstoffmaterial innerhalb der zusammengesetzten Umhüllung bildet. Die Metallschutzschicht bildet vorzugsweise etwa 1 bis 4 % der Dicke der Umhüllung und besteht aus einem Metall, das aus der Gruppe, bestehend aus Niob, Aluminium, Kupfer, Nickel, rostfreiem Stahl und Eisen, ausgewählt ist. An der Metallschutzschicht 22 ist auf deren innenseitigem Umfang eine innere Schicht 23 metallurgisch so gebunden, daß die innere Schicht der Teil der zusammengesetzten Umhüllung ist, der dem Kernbrennstoffmaterial 16 am nächsten liegt. Die innere Schicht bildet vorzugsweise etwa 5 bis etwa 15 % der Dicke der Umhüllung und

besteht aus herkömmlichen Umhüllungsmaterialien, wie z.B. rostfreiem Stahl und Zirkonlegierungen, und in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Trägersubstanz eine Zirkonlegierung, wie z.B. Zirkaloy-2. Die Metallschutzschicht dient als bevorzugter Reaktionsbereich für gasförmige Verunreinigungen und Spaltprodukte, die entweder durch die innere Schicht 23 hindurch diffundiert oder hindurch korrodiert sind, und schützt die Umhüllung gegen den Kontakt und gegen Reaktion mit diesen Verunreinigungen und Spaltprodukten. In einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung bestehen die Trägersubstanz und die innere Schicht aus dem gleichen Material, und ein bevorzugtes Material ist eine Zirkonlegierung, wie z.B. Zirkaloy-2.

Die zusammengesetzte Umhüllung des Kernbrennstoffelementes dieser Erfindung enthält eine Metallschutzschicht, die metallurgisch an die Trägersubstanz gebunden ist, und eine innere Schicht, die metallurgisch an die Metallschutzschicht gebunden ist. Metallografische Untersuchungen zeigen, daß ausreichende Querdiffusion zwischen der Trägersubstanz und der Metallschutzschicht und zwischen der Metallschutzschicht und der inneren Schicht vorhanden ist, um metallurgische Bindungen zu bilden, jedoch unzureichende Querdiffusion vorhanden ist, um mit der Metallschutzschicht selbst zu legieren. Aus Fig. 2 ist auch ersichtlich, daß die Metallschutzschicht als eine "bedeckte" Metallschutzschicht oder Metallsperre ("buried" metal barrier) bezeichnet werden könnte.

Es ist gefunden worden, daß eine Metallschutzschicht von der Größenordnung vorzugsweise von wenigstens etwa 1 bis 4 % der Wandstärke der Umhüllung, die metallurgisch an die Trägersubstanz und die innere Schicht gebunden ist, eine chemische Beständigkeit ergibt, die ausreichend ist, um zu verhindern,

daß Fehler von der inneren Schicht zu der Trägersubstanz der Umhüllung fortschreiten. Die Metallschutzschicht liefert bemerkenswerte chemische Beständigkeit gegen Spaltprodukte und Gase, die in dem Kernbrennstoffelement vorhanden sein können, und verhindert, daß diese Spaltprodukte und Gase mit der Trägersubstanz der zusammengesetzten Umhüllung - die so durch die Metallschutzschicht geschützt ist - in Berührung kommen können.

Bei einem typischen Brennstoffelement liegt die Trägersubstanz der zusammengesetzten Umhüllung im Dickenbereich von 0,061 cm (24 mils) bis 0,076 cm (30 mils), die Metallschutzschicht im Dickenbereich von 0,00127 cm (0,5 mils) bis 0,0025 cm (1 mil) und die innere Schicht ist angenähert 0,0076 cm (3 mils). In anderen Ausführungsformen liegt die Metallschutzschicht näher an der äußeren Oberfläche der zusammengesetzten Umhüllung als in dem vorstehenden Beispiel.

Die zusammengesetzte Umhüllung, die in den Kernbrennstoffelementen der vorliegenden Erfindung verwendet wird, kann durch irgendeins der folgenden Verfahren hergestellt werden.

Bei einem Verfahren wird ein Rohr aus dem Metall, das für die Metallschutzschicht ausgewählt wird, in einen hohlen Barren aus dem Material, das für die Trägersubstanz ausgewählt wird, eingefügt und ein Rohr aus dem Material, das für die innere Schicht ausgewählt wird, wird in das Metallschutzschichtrohr eingefügt und dann wird die gesamte Anordnung einer Explosionsverbindung der Rohre mit dem Barren unterworfen. Das zusammengesetzte Teil wird extrudiert, wobei herkömmliche Rohrschalenextrusion bei erhöhten Temperaturen von etwa 538 bis 760° C (etwa 1000 bis 1400° F) angewendet wird. Dann wird das extrudierte, zusammengesetzte Teil einem

Verfahren unterworfen, zu dem herkömmliches Reduzieren des Rohrquerschnittes (Rohrverkleinerung) gehört, bis die gewünschte Größe der Umhüllung erreicht ist.

Bei einem anderen Verfahren wird ein Rohr aus dem Metall, das für die Metallschutzschicht ausgewählt wird, in einen hohlen Barren aus dem Material, das für die Trägersubstanz ausgewählt wird, eingefügt und ein Rohr aus dem Material, das für die innere Schicht ausgewählt wird, wird in das Rohr aus dem Schutzschichtmetall eingefügt und dann wird die gesamte Anordnung einem Erhitzungs-Verfahrensschritt unterworfen (z.B. 8 Stunden bei 750^o C), um eine Diffusionsverbindung zwischen den Rohren und dem Barren zu bilden. Das zusammengesetzte Teil wird extrudiert, wobei herkömmliche Rohrschalenextrusion angewendet wird, wie es in dem vorhergehenden Absatz geschildert worden ist. Dann wird das extrudierte, zusammengesetzte Teil einem Verfahren unterworfen, das herkömmliches Verringern des Rohrquerschnittes (Rohrverkleinerung) enthält, bis die gewünschte Größe der Umhüllung erreicht ist.

In noch einem anderen Verfahren wird ein Rohr aus dem Metall, das für die Metallschutzschicht ausgewählt ist, in einen hohlen Barren aus der Legierung, die für die Trägersubstanz ausgewählt wird, eingefügt und ein Rohr aus dem Material, das für die innere Schicht ausgewählt ist, wird in das Rohr aus dem Schutzschichtmetall eingefügt und die gesamte Anordnung wird extrudiert, wobei herkömmliche Rohrschalenextrusion, wie oben beschrieben, angewendet wird. Dann wird das extrudierte, zusammengesetzte Teil einem Verfahren unterworfen, das herkömmliches Verringern des Rohrquerschnittes (Rohrverkleinerung) umfaßt, bis die gewünschte Größe der Umhüllung erreicht ist.

Die vorstehend beschriebenen Verfahren der Herstellung der zusammengesetzten Umhüllung gemäß dieser Erfindung sind ökonomisch im Vergleich zu anderen Verfahren, die bei der Herstellung von Umhüllungen verwendet werden, wie z.B. Elektroplattieren oder Aufdampfen.

Die Erfindung schließt ein Verfahren zur Herstellung eines Kernbrennstoffelementes ein, das folgende Schritte umfaßt: Herstellen einer zusammengesetzten, behälterartigen Umhüllung, die an einem Ende offen ist, wobei die behälterartige Umhüllung einen Träger aus einer Trägersubstanz, eine Metallschutzschicht, die metallurgisch an die innere Oberfläche der Trägersubstanz gebunden ist, und eine innere Schicht, welche metallurgisch an die innere Oberfläche der Metallschutzschicht gebunden ist, enthält, Füllen der zusammengesetzten, behälterartigen Umhüllung mit Kernbrennstoffmaterial, wobei ein Hohlraum an dem offenen Ende belassen wird, Einfügen eines Mittels zum Festhalten des Kernbrennstoffmaterials in den Hohlraum, Anbringen eines Verschußstückes an dem offenen Ende der Umhüllung, wobei der Hohlraum in Verbindung mit dem Kernbrennstoff belassen wird, und nachfolgendes Verbinden des Endes der behälterartigen Umhüllung mit dem Verschußstück, um zwischen beiden eine feste Dichtung zu bilden.

Die vorliegende Erfindung bietet verschiedene Vorteile, da sie eine lange Betriebslebensdauer des Kernbrennstoffelementes fördert, was auch die Verringerung der Hydrierung der Umhüllungsträgersubstanz, die Minimalisierung von lokalen Spannungen an der Umhüllungsträgersubstanz, die Minimalisierung von Spannungs- und Überlastungskorrosion an der Umhüllungsträgersubstanz, die Verringerung der Möglichkeit von Bruchfehlern in der Umhüllungsträgersubstanz und die Verhinderung des Fortschreitens von Spannungskorrosionsrissen durch die

zusammengesetzte Umhüllung einschließt. Die Erfindung verhindert weiterhin Expansion (oder Schwellen) des Kernbrennstoffes in direktem Kontakt mit der Umhüllungsträgersubstanz, und dies verhindert lokale Spannungen an der Umhüllungsträgersubstanz, Beginn oder Beschleunigung von Spannungskorrosion an der Umhüllungsträgersubstanz und Verbinden des Kernbrennstoffes mit der Umhüllungsträgersubstanz.

Eine wichtige Eigenschaft der zusammengesetzten Umhüllung dieser Erfindung ist, daß die vorstehend beschriebenen Verbesserungen mit vernachlässigbaren bis geringen nachteiligen Neutronenfolgen (in Abhängigkeit von der Wahl des Schutzschichtmaterials) erreicht werden. Eine derartige Umhüllung läßt sich leicht in Kernreaktoren einsetzen, da die Umhüllung bei einem Unfall mit Kühlmittelverlust oder einem Unfall, an dem das Fallen eines Kernsteuerstabes beteiligt ist, eine minimale, eutektische Bildung (in Abhängigkeit von der Wahl des Schutzschichtmaterials) in dem Träger-substanzteil der Umhüllung haben würde. Ferner besitzt die zusammengesetzte Umhüllung einen sehr kleinen Verlust an Wärmeübergang, da keine thermische Sperre gegen Wärmeübergang vorhanden ist, wie das der Fall ist, wenn eine getrennte Folie oder eine Auskleidung in ein Brennstoffelement eingesetzt wird. Auch ist die zusammengesetzte Umhüllung gemäß dieser Erfindung durch herkömmliche, zerstörungsfreie Testmethoden in verschiedenen Herstellungsstufen überprüfbar.

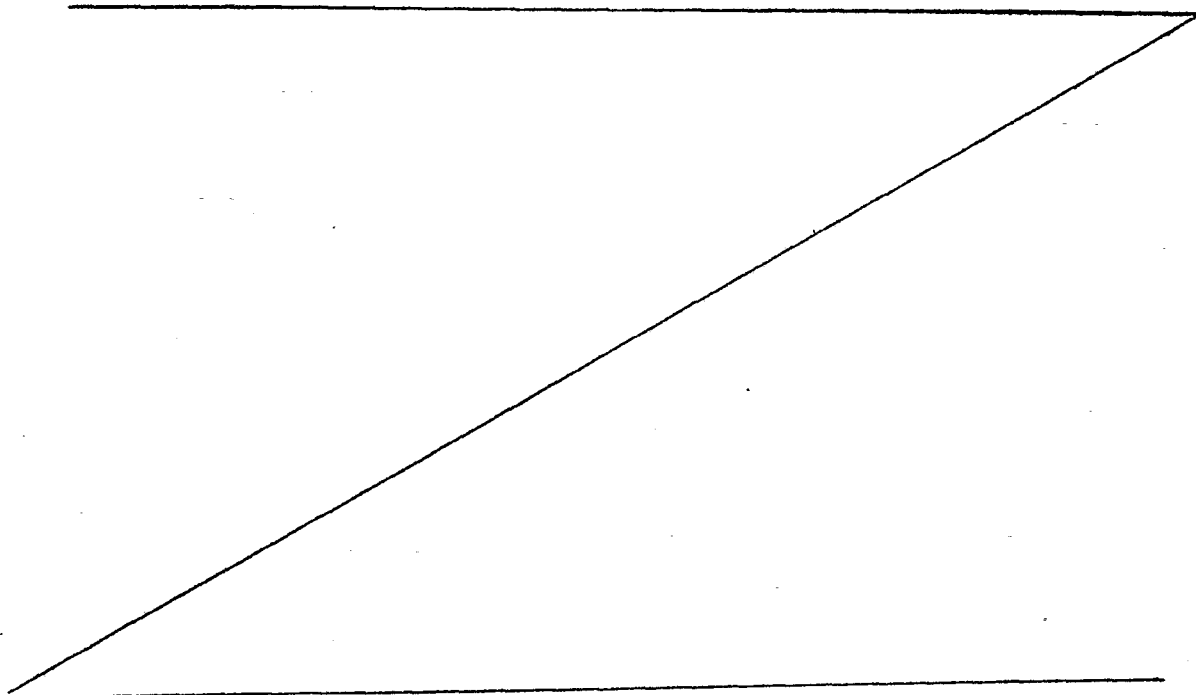
Zusätzlich zu den vorstehend beschriebenen Vorteilen, sind die innere und die äußere Oberfläche der zusammengesetzten Umhüllung, wenn die Zirkonlegierung als Trägersubstanz und für die innere Schicht gewählt wird, mit Herstellungsverfahren für Leichtwasser-Kernreaktor-Umhüllungen verträglich, und dies ermöglicht die Verwendung von üblichen Herstellungsverfahren, Schmiermitteln, Ätzmitteln usw.

Zum weiteren Verständnis der Erfindung werden im folgenden erläuternde Beispiele für die Erfindung angegeben, die die Erfindung jedoch in keiner Weise begrenzen sollen.

Beispiele 1 bis 4

Barren und Einsteckteile wurden maschinell hergestellt, gereinigt und durch übliche Verfahren für Extrusion zusammengefügt, und alle Abmessungen wurden so gewählt, daß die zusammengesetzten Barren in einer Heiextrusionspresse extrudiert werden konnten.

Die Barren bestanden aus normalem Zirkaloy-2 entsprechend amerikanischem Standard ASTM B353, Qualität Grade RA-1, und die Einfgteile waren aus hochreinem Niob und rostfreiem Stahl 304L Stainless Steel (ASTM-A 312) hergestellt. Alle Barrenffnungen und Einfgteile besaßen einen 0,02 cm pro cm (8 mils per in.) Konus und wurden zusammengepreßt, um einen guten Kontakt zwischen den ineinandergreifenden Oberflächen zu gewährleisten. Die Abmessungen der bearbeiteten Teile waren wie folgt:



609820/0832

	Barren		Bedeckte Sperrschicht		innere Schutzschicht	
	Länge	äuß. x innerem Durchmesser	äußerer Durchmesser	innerer Durchmesser	äußerer Durchmesser	innerer Durchmesser
1. bedeckte Nb-Metallschutzschicht	24,13	x 14,6 x 6,6 (9,5 x 5,74 x 2,59)	6,6 (2,59)	- 6,2 (2,44)	6,2 (2,44)	- 4,2 (1,66)
2. bedeckte Nb-Metallschutzschicht	24,13	x 14,6 x 6,6 (9,5 x 5,74 x 2,59)	6,6 (2,59)	- 6,2 (2,44)	6,2 (2,44)	- 4,2 (1,66)
3. bedeckte SS-Metallschutzschicht	24,13	x 14,6 x 6,7 (9,5 x 5,74 x 2,64)	6,7 (2,64)	- 6,2 (2,44)	6,2 (2,44)	- 4,2 (1,66)
4. bedeckte SS-Metallschutzschicht	24,13	x 14,6 x 6,5 (9,5 x 5,74 x 2,56)	6,5 (2,56)	- 6,2 (2,44)	6,2 (2,44)	- 4,2 (1,66)

Anmerkung: Angaben in cm bzw. (inch).

- 20 -

2549971

Vor dem Zusammenfügen der Barren und der Einsatzteile wurden die ineinandergreifenden Oberflächen leicht angeätzt, um Spuren von Verunreinigungen zu entfernen. Das Ätzmittel, das für das Zirkaloy-2 verwendet wurde, war eine Lösung aus 70 ml H₂O, 30 ml HNO₃ und 5 ml HF; und für das Niob war es eine Lösung aus 7,5 ml HCl, 7.5 ml H₂SO₄, 4 ml HNO₃, 31 ml H₂O und 2 ml HF.

Der rostfreie Stahl (hier auch mit "SS" bezeichnet) wurde mit feinem Schmirgelpapier poliert und mit Aceton und entionisiertem Wasser gereinigt.

Um die Gegebenheiten für eine zufriedenstellende Verbindung zwischen den Einfügestücken und den Barren während der Extrusion zu verbessern, wurde beschlossen, die zusammengefügte Teile vorher vorzuverbinden. Dies wurde durch Pressen der konisch zulaufenden Einfügestücke in die konische Bohrung in den Barren unter Vakuum von $\leq 20 \mu\text{m}$ 8 Stunden lang durchgeführt, wobei die Barrentemperatur auf 760° C (1400° F) gehalten wurde. Die auf die Einfügestücke angewendeten Kräfte während des anfänglichen Pressens lag^{en} im Bereich von 13 608 kg (30 000 lb) bis 20 412 kg (45 000 lb).

Um die Endverluste während der Extrusion zu verringern, wurde ein 5,08 cm (2 inch) Stück eines Zirkaloy-2-Barrens an jedes Ende der zusammengesetzten Barren geschweißt und glattbündig bearbeitet.

Die Extrusion der Barren zu Rohrschalen wurde unter Verwendung der folgenden Parameter durchgeführt:

Extrusionsgeschwindigkeit: 15,24 cm/min (6 in/min),
Reduktionsverhältnis: 6 : 1,
Temperatur: 593,33° C (1 100° F) und
Extrusionskraft: 3 500 t (3 500 tons).

Alle Barrenoberflächen, ausgenommen die Bohrung, und auch der Ziehhorn wurden mit einem wasserlöslichen Schmiermittel geschmiert, das eine Stunde lang auf 704,4° C (1 300° F) ausgebacken war. Beide Enden der Rohrschalen wurden glattgeschnitten, und der innere Durchmesser wurde abgeschliffen, um möglicherweise vorhandene Oberflächenfehler zu entfernen und die Oberflächenbeschaffenheit zu verbessern. Die Endabmessungen für die Rohrschalen waren:
äußerer Durchmesser: 6,35 cm (2,500 inch),
innerer Durchmesser: 4,16 cm (1,640 inch) und
Länge: 1,524 m (5 feet).

Die endgültige Reduzierung der Rohrschalen zu Brennstoffrohren wurde nach dem Standardverfahren vorgenommen, das 4 Reduktionsstufen mit Säuberung und Ausglühen zwischen jeder Stufe umfaßt. Die Parameter für dieses Verfahren sind in Tabelle 1 angegeben.

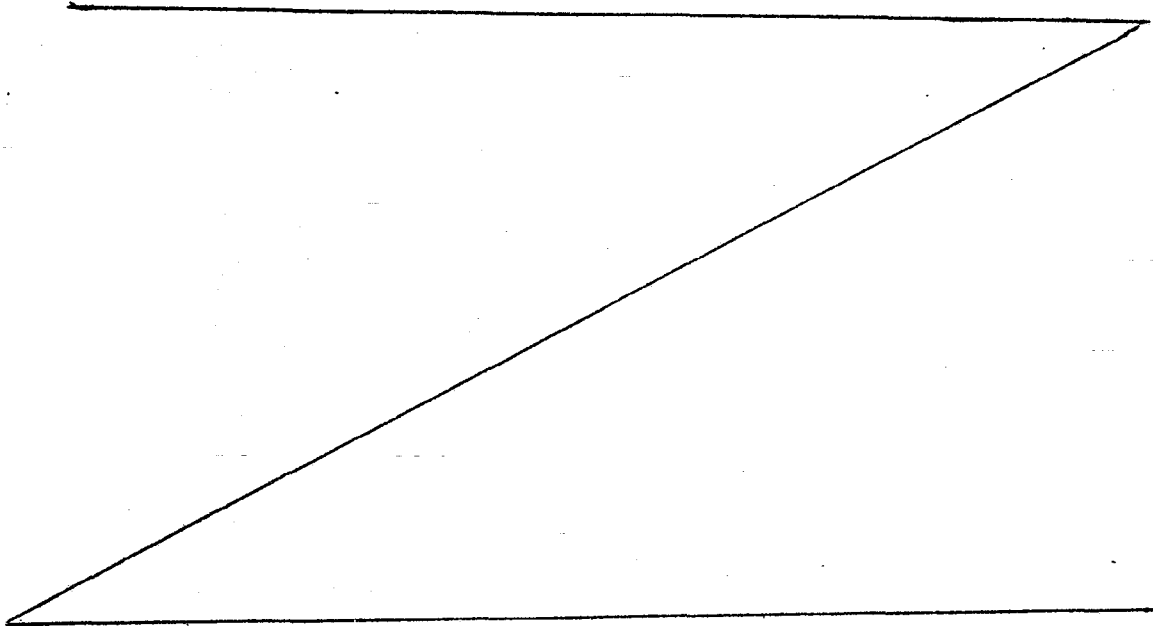


Tabelle 1

Reduktionsparameter für die ko-extrudierten Rohre

Verfahrens- schritt	äußerer Durch- messer	Dicke des zu- sammen- gesetzten Teils	innerer Durch- messer des ein- gefügt Metall- schutz- schicht- Rohres	% Reduk- tion	Qe ⁺
Beginn mit Rohr- schale	6,35 cm (2,500 inch)	1,09 cm (0,430 inch)	4,2 cm (1,650 inch)	-	-
Reinigung zum Ausglühen (Entfetten: Seife, Base, kaustisch)					
Ausglühen: 676° C (1.250° F), 1 Stunde					
Erster Durch- gang	4,3 cm (1,687 inch)	0,688 cm (0,270 inch)	2,93 cm (1,147 inch)	57	1,2
Reinigung zum Ausglühen					
Ausglühen: 621° C (1.150° F), 1 Stunde					
Zweiter Durch- gang	3,18 cm (1,125 inch)	0,406 cm (0,160 inch)	2,04 cm (0,805 inch)	60	1,4

Reinigung zum Ausglühen

Ausglühen: 621° C (1.150° F), 1 Stunde

Verfahrens- schritt	äußerer Durch- messer	Dicke des zu- sammen- gesetzten Teils	innerer Durch- messer des ein- gefügteten Metall- schutz- schicht- Rohres	% Reduk- tion	Qe [†]
------------------------	-----------------------------	---	---	---------------------	-----------------

Dritter Durch- gang	1,9 cm (0,750 inch)	0,215 cm (0,085 inch)	1,47 cm (0,580 inch)	64	1,7
---------------------------	---------------------------	-----------------------------	----------------------------	----	-----

Reinigung zum Ausglühen

Ausglühen: 621^o C (1.150^oF), 1 Stunde

Vierter Durch- gang	1,255 cm (0,495 inch)	0,071 cm (0,028 inch)	1,115 cm (0,439 inch)	70	2,3
---------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----	-----

Reinigung zum Ausglühen

Ausglühen: 576^o C (1.070^o F), 2 1/2 bis 4 Std.

Ätzung auf

1,25 cm (0,494 inch)	0,071 cm (0,028 inch)	1,11 cm (0,438 inch)
----------------------------	-----------------------------	----------------------------

†) Qe ist definiert als das Verhältnis des Prozentsatzes der Änderung der Wandstärke zu dem Prozentsatz der Änderung des mittleren Durchmessers.

Die Abmessungen der Endprodukte sind in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2

	Innerer Durchmesser	Äußerer Durchmesser	Abmessungen in 10^{-3} cm (mils) von der	
			Metall-schutzschicht	inneren Schicht
Beispiel 1	1,11 cm (0,438 inch)	1,25 cm (0,494 inch)	$2,54 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} 0,5$ (1,0 $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$ 0,2)	$7,87 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} 1,5$ (3,1 $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$ 0,6)
Beispiel 2	1,11 cm (0,438 inch)	1,25 cm (0,494 inch)	$2,54 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} 0,5$ (1,0 $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$ 0,2)	$8,1 \pm 1,3$ (3,2 \pm 0,5)
Beispiel 3	1,11 cm (0,438 inch)	1,25 cm (0,494 inch)	$3,55 \pm 0,5$ (1,4 \pm 0,2)	$9,13 \pm 0,5$ (3,6 \pm 0,2)
Beispiel 4	1,11 cm (0,438 inch)	1,25 cm (0,494 inch)	$2,54 \pm 0,25$ (1,0 \pm 0,1)	$7,6 \pm 0,5$ (3,0 \pm 0,2)

Patentansprüche:

1. Kernbrennstoffelement, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß es (a) einen zentralen Kern aus einem Körper aus Kernbrennstoffmaterial (16) und (b) eine längliche, zusammengesetzte, behälterartige Umhüllung (17) mit einem Träger (21), einer Metallschutzschicht (22) (als Sperre aus Metall), die metallurgisch an die innere Oberfläche der Trägersubstanz gebunden ist, und eine innere Schicht (23), die metallurgisch an die innere Oberfläche der Metallschutzschicht gebunden ist, aufweist.
2. Kernbrennstoffelement nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß es zusätzlich einen freien Raum (20) innerhalb des Brennstoffelements und ein Mittel (24) zum Festhalten des Kernbrennstoffmaterials aufweist, welches ein in dem freien Raum angeordnetes schraubenförmiges Glied umfaßt.
3. Kernbrennstoffelement nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Metallschutzschicht (22) Aluminium, Kupfer, Niob, Nickel, rostfreier Stahl oder Eisen ist.
4. Kernbrennstoffelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Trägersubstanz eine Zirkonlegierung ist.
5. Kernbrennstoffelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die innere Schicht (23) eine Zirkonlegierung ist.
6. Kernbrennstoffelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Kernbrennstoffmaterial aus Uranverbindungen, Plutoniumverbindungen oder Mischungen derselben besteht.

609820/0832

7. Kernbrennstoffelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Kernbrennstoffmaterial aus Urandioxyd besteht.
8. Kernbrennstoffelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Kernbrennstoffmaterial aus einer Mischung besteht, die Urandioxyd und Plutoniumdioxyd enthält.
9. Zusammengesetzte, behälterartige Umhüllung für Brennstoffelemente für Kernreaktoren, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß sie eine Trägersubstanz (21) aus einer Zirkonlegierung, eine Metallschutzschicht (22), die metallurgisch an die innere Oberfläche der Trägersubstanz gebunden ist, und eine innere Schicht (23), die metallurgisch an die innere Oberfläche der Metallschutzschicht gebunden ist, umfaßt.
10. Zusammengesetzte, behälterartige Umhüllung nach Anspruch 9, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Metallschutzschicht Aluminium, Niob, Kupfer, Nickel, rostfreier Stahl oder Eisen ist.
11. Zusammengesetzte, behälterartige Umhüllung nach Anspruch 9 oder 10, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Trägersubstanz eine Zirkonlegierung ist.
12. Zusammengesetzte, behälterartige Umhüllung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die innere Schicht eine Zirkonlegierung ist.

13. Kernbrennstoffelement, dadurch gekennzeichnet, daß es eine längliche, zusammengesetzte, behälterartige Umhüllung (17) mit einem Träger (21), einer Metallschutzschicht (22), die metallurgisch an die innere Oberfläche der Trägersubstanz gebunden ist, und einer inneren Schicht (23), die metallurgisch an die innere Oberfläche der Metallschutzschicht gebunden ist, einem zentralen Kern aus einem Körper aus Kernbrennstoffmaterial (16), der in der Umhüllung (17) angeordnet ist und diese teilweise ausfüllt, wobei ein innerer freier Raum (20) in der Umhüllung (17) ausgebildet ist, ein Verschußstück (18), das jeweils an einem Ende der Umhüllung (17) an dieser einstückig und abschließend dicht befestigt ist, und ein Mittel (24) zum Festhalten des Kernbrennstoffmaterials, das in dem freien Raum (20) angeordnet ist, enthält.

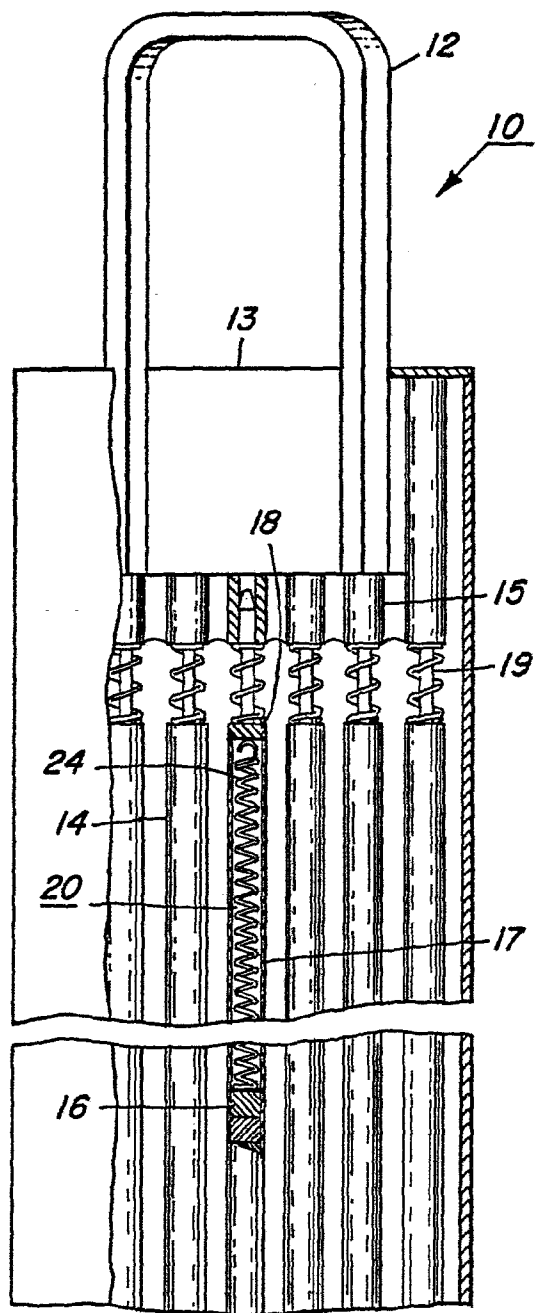


Fig. 1

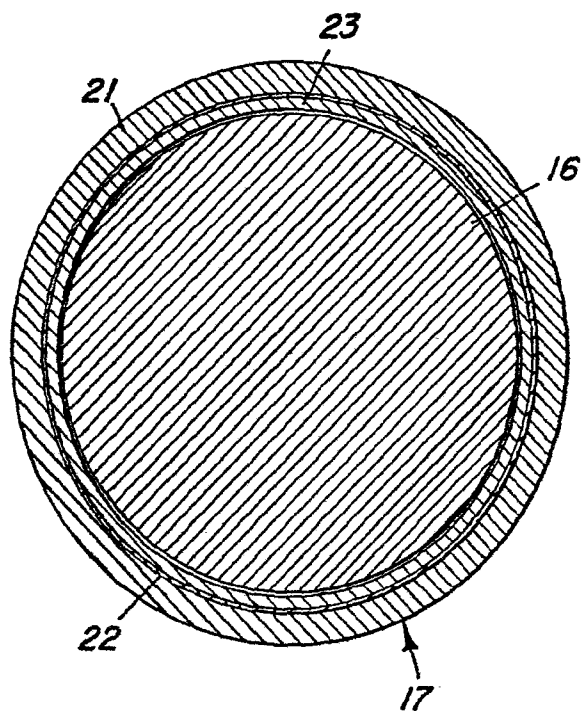


Fig. 2

609820/0832