

⑤

Int. Cl. 2:

G 21 C 3/16

⑯ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT

1
6
7
DT 17 64 150 B 2

Auslegeschrift 17 64 150

⑪

⑫

⑬

⑭

⑮

Aktenzeichen: P 17 64 150.8-33

Anmeldetag: 10. 4. 68

Offenlegungstag: 13. 5. 71

Bekanntmachungstag: 10. 2. 77

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒

12. 4. 67 Großbritannien 16875-67

㉔

Bezeichnung: Länglicher Kernbrennstoffstab

㉖

Anmelder: United Kingdom Atomic Energy Authority, London

㉘

Vertreter: Pürckhauer, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 5900 Siegen

㉚

Erfinder: Williams, Albert Etheridge; Linkison, William Simpson; London

㉜

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DT-AS 10 87 284

DT-GM 18 52 484

FR 12 99 652

GB 9 33 817

FIG. 1.

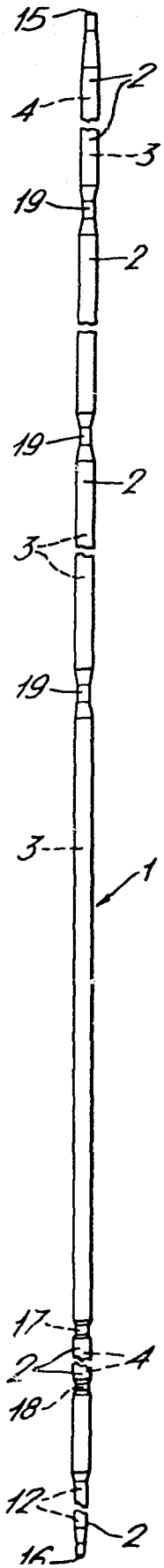


FIG. 2A.

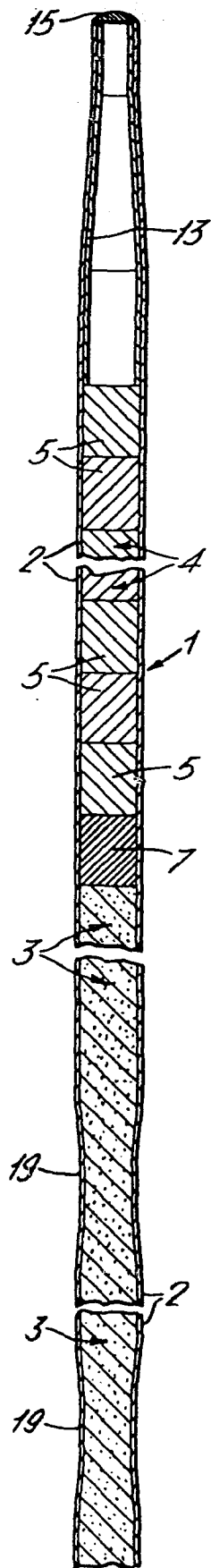


FIG. 2B.

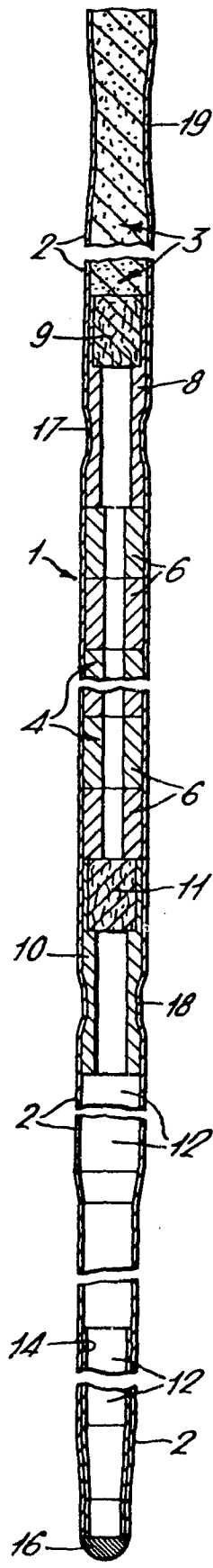
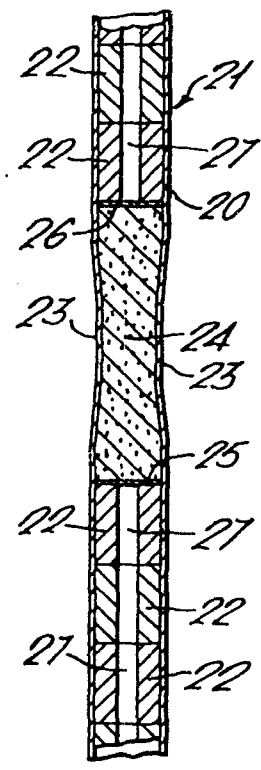


FIG. 3.



Patentansprüche:

1. Länglicher Kernbrennstoffstab mit einer Hülle aus rostfreiem Stahl, die ein feines vibrationsverdichtetes Keramikkernbrennstoffpulver enthält, dadurch gekennzeichnet, daß in an sich bekannter Weise eine Mehrzahl von in Längsrichtung im Abstand voneinander angeordnete Durchmesserreduzierungen (19, 23) über die Länge des Brennstabes (1, 21) angeordnet ist, wobei die Querschnittsfläche des Brennstoffmaterials (3, 24) in Übereinstimmung mit jeder Durchmesserreduzierung im Vergleich mit derjenigen Querschnittsfläche des übrigen Brennstoffmaterials verringert ist, und wobei die Dichte des Brennstoffes im Bereich jeder Durchmesserreduzierung (19, 23) die gleiche wie diejenige des übrigen Brennstoffes (3, 24) ist, und daß die Querschnittsstärke des eingeschnürten Teils des Brennstabes (1, 21) derart gegenüber der Querschnittsstärke des stärkeren Teils verringert ist, daß bei einer gegebenen Betriebstemperatur in dem Fall, daß das Brennstoffmaterial im Zentrum des dicken Teils schmilzt und sich abwärts bewegt, das Material im Zentrum des eingeschnürten Teils genügend fest bleibt, um das geschmolzene Material zu halten, um so eine Abwärtsbewegung des geschmolzenen Brennstoffmaterials zu verhindern und dadurch eine Sperre gegen eine Neuorientierung des Brennstoffs im Brennstab zu bilden.
2. Brennstab nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchmesserreduzierung (19, 23) in einem Bereich von 10 bis 12 1/2% liegen.
3. Brennstab nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Bereich der Durchmesserreduzierung (23) ein entsprechendes Volumen von vibrationsverdichtetem Brennstoffpulver (24) aufweist und daß die Volumina des vibrationsverdichteten Brennstoffpulvers durch Stapel von Brennstoffpellets (22) getrennt sind.
4. Brennstab nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffpellets (22) ringförmig ausgebildet sind und daß die Volumina des vibrationsverdichteten Pulvers (24) von den Pelletstapeln durch eine dünne Metallscheibe (25, 26) an jedem Ende getrennt sind.
5. Verfahren zur Herstellung eines länglichen zylindrischen Brennstoffstabes für ein Brennelement eines schnellen Brutreaktors nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst Durchmesserreduzierungen (19, 23) an der Hülle (2, 20) aus rostfreiem Stahl des Brennstabes (1, 21) angebracht werden, daß daraufhin feines keramisches Kernbrennstoffpulver (3, 24) in die Hülle (2, 20) eingefüllt wird, daß dann das Brennstoffpulver an Ort und Stelle einer Vibrationsverdichtung unterzogen wird, um seine Dichte auf ungefähr 80% der theoretischen Dichte zu bringen, und daß schließlich die Hülle (2, 20) abgedichtet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchmesserreduzierungen (19, 23) durch einen kalten Rotationseinzieh- oder Rotationseindruckarbeitsgang hergestellt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchmesserreduzierungen (19, 23) durch ein Kalteinziehen bzw. Kaltpressen hergestellt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchmesserreduzierung (19, 23) durch Hochenergiestoßwellen bewirkt werden, wobei in die Hülle (2, 20) ein Dorn mit einem entsprechenden Reduzierprofil eingeführt wird.
9. Verfahren zur Herstellung länglicher zylindrischer Brennstäbe für ein Brennelement eines schnellen Brutkernreaktors nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst ein Stapel von Brennstoffpellets (22) in eine Hülle (20) des Brennstabes (21) längs eines Teilstückes der mit Brennstoff gefüllten Stablänge eingebracht wird, daß daraufhin eine Durchmesserreduzierung der Hülle (20) an einer Stelle unmittelbar über dem oberen Ende des Brennstoffpelletstapels angebracht wird, daß das Brennstoffmaterial (24) in Pulverform in die Hülle (20) eingefüllt wird, derart, daß es den Bereich der Durchmesserreduzierung (23) ausfüllt, daß das Brennstoffpulver (24) durch Vibration verdichtet wird, daß ein weiterer Stapel von Brennstoffpellets (22) über das verdichtete Pulver (24) eingebracht wird, daß die Arbeitsgänge der Durchmesserreduzierung, des Einfüllens des Pulvers, der Pulververdichtung und der Pelleteinbringung wiederholt werden, bis die für die Brennstofffüllung vorgesehene Länge des Stabes ausgefüllt ist, und daß abschließend die Hülle (20) abgedichtet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffpellets (22) ringförmig ausgebildet sind und daß die Folge von Arbeitsgängen das Anordnen einer dünnen Metallscheibe (25, 26) zwischen jeden Stapel von Brennstoffpellets (22) und den angrenzenden Volumina von Brennstoffpulvern (24) einschließt

Die Erfindung bezieht sich auf längliche Kernbrennstoffstäbe mit einer Hülle aus rostfreiem Stahl, die ein feines vibrationsverdichtetes Keramikkernbrennstoffpulver enthält.

Brennstoffstäbe der vorbeschriebenen Gattung haben insbesondere bei Verwendung in einem schnellen Brutreaktor den Nachteil, daß beim Auftreten eines Temperaturschlages im Reaktor die Möglichkeit besteht, daß das Brennstoffmaterial im axialen Zentrumsbereich eines Brennstoffstabes schmilzt und eine physikalische Neuorientierung des Brennstoffmaterials innerhalb der Hülle auftritt. Das pulverförmige Brennstoffmaterial weist eine Dichte auf, die geringer als die theoretische Dichte ist und die z. B. annähernd 80% der theoretischen Dichte betragen kann. Wenn das Brennstoffmaterial schmilzt, erreicht das geschmolzene Material eine Dichte von 100% der theoretischen Dichte, die bewirkt, daß sich das Brennstoffmaterial verlagert. Wenn dieser Fall eintritt, ändern sich die Charakteristiken des Reaktorkerns und können einen Leistungsschlag bewirken. Des Weiteren kann eine unterschiedliche thermische Ausdehnung zwischen dem Brennstoff und dem Hüllenmaterial eine Änderung des Temperaturkoeffizienten der Reaktivität mit sich bringen, die zu einer axialen Instabilität, Schwierigkeiten mit der Regelung und artverwandten, hiermit verbundenen Problemen führt.

Aus der DT-AS 10 87 284, dem DT-GM 18 52 484, der FR-PS 12 99 652 und GB-PS 9 33 817 sind zwar Brennelemente bekannt geworden, die Pellets aufweisen, auf denen die Hülle verformt wird und die deshalb

4

3

17 64 150

4

notwendigerweise in Abständen angeordnete Durchmesserreduzierungen aufweisen. Die in den genannten Schriften zur Lösung anstehenden Aufgaben sind die Erzielung einer Stabilisierung des Pelletstapels während der Verformung der Hülle und die Erzielung einer Festigkeit in der dünnwandigen Hülle. Das vorgeschilderte Problem tritt bei diesen bekannten Brennelementen nicht auf, weil ein Absinken des Brennstoffes bei festen Pellets oder ringförmigen Pellets, bei denen die Bohrungsbohrfläche durch Wärmeübergang über eine innere Hülle auf ein Kühlmittel gekühlt werden, nicht vorkommt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Kernbrennstoffstab mit verdichtetem Brennstoffpulver in einer Hülle zu schaffen, bei welchem im Falle eines starken Temperaturschlages, der ausreichen könnte, einen Teil des Brennstoffes zu schmelzen, eine Neuorientierung des Brennstoffes vermieden wird.

Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß in an sich bekannter Weise eine Mehrzahl von in Längsrichtung im Abstand voneinander angeordnete Durchmesserreduzierungen über die Länge des Brennstabes angeordnet ist, wobei die Querschnittsfläche des Brennstoffmaterials in Übereinstimmung mit jeder Durchmesserreduzierung im Vergleich mit derjenigen Querschnittsfläche des übrigen Brennstoffmaterials verringert ist, und wobei die Dichte des Brennstoffes im Bereich jeder Durchmesserreduzierung die gleiche wie diejenige des übrigen Brennstoffes ist, und daß die Querschnittsstärke des eingeschnürten Teils des Brennstabes derart gegenüber der Querschnittsstärke des stärkeren Teils verringert ist, daß bei einer gegebenen Betriebstemperatur in dem Fall, daß das Brennstoffmaterial im Zentrum des dicken Teils schmilzt und sich abwärts bewegt, das Material im Zentrum des eingeschnürten Teils genügend fest bleibt, um das geschmolzene Material zu halten, um sich eine Abwärtsbewegung des geschmolzenen Brennstoffmaterials zu verhindern und dadurch eine Sperre gegen eine Neuorientierung des Brennstoffes im Brennstab zu bilden.

Durch die Erfindung wird somit ein bisher ungelöstes Problem gelöst.

Weitere Merkmale der Erfindung sind den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung entnehmbar, die anhand der schematischen Zeichnung näher beschrieben werden. Dabei zeigt bzw. zeigen

Fig. 1 eine Seitenansicht eines Brennstoffstabes für einen schnellen Brutreaktor,

die Fig. 2A und 2B vergrößerte Längsschnitte des Brennstoffstabes der Fig. 1, während

Fig. 3 einen vergrößerten Längsschnitt durch ein kurzes Teilstück eines Brennstoffstabes von anderer Bauart für einen schnellen Brutreaktor wiedergibt.

Gemäß den Fig. 1, 2A und 2B ist ein Brennstoffstab 1 für einen schnellen Brutreaktor vorgesehen, der durch flüssiges Natrium gekühlt wird, wobei der Brennstoffstab 1 typischerweise eine Länge von ca. 2,2 m aufweist und aus einer Hülle 2 aus Edelstahl besteht, welche sowohl Brennstoff 3 als auch Brütstoff 4 enthält. Der Brennstoff 3 besteht aus UO_2/PuO_2 -Pulver, das auf eine typische Dichte von $8,8 \text{ Gramm/cm}^3$ an Ort und Stelle vibroverdichtet wird, was etwa 80% der theoretischen Dichte entspricht, und wird im oberen Mittelbereich des Brennstoffstabes über eine Länge von etwa 915 mm angeordnet. Der Brütstoff 4, der obere und untere axiale Brüterbereiche bildet, ist in Form von festen Pellets 5 für

den oberen Brüterbereich und ringförmigen Pellets 6 für den unteren Brüterbereich vorgesehen, wobei der Brennstoff 3 von den oberen Brüterpellets 5 durch ein massives Edelstahl-Abstandsstück 7 und von den unteren Brüterpellets 6 durch ein ringförmiges Edelstahl-Abstandsstück 8 getrennt ist, das ein feines Filter 9 aus Edelmetallwolle enthält. Ein Abstandsstück 10, das ähnlich dem Abstandsstück 8 ausgebildet ist, aber ein groberes Filter 11 aus Edelmetallwolle enthält, trennt die Brüterpellets 6 von einer Kammer 12, die zum Sammeln gasförmiger Spaltprodukte dient und durch den unteren Innenraum des Brennstoffstabes gebildet wird. Die Hülle 2 weist im Bereich der Kammer 12 einen reduzierten Durchmesser von 5,334 mm auf, verglichen mit dem mittleren und oberen Bereich der Hülle, wo der Durchmesser 5,842 mm beträgt. Die Hüllenwanddicke beträgt 0,381 mm. Die Endbereiche der Hülle 2 werden mit inneren Hülsen 13 bzw. 14 versehen, die zusammengedrückt und mit Endverschweißungen 15 bzw. 16 abgedichtet werden.

Die Abstandsstücke 8, 10 werden durch Eindringen der Hülle 2 in Aussparungen 17 bzw. 18 hinein fixiert, während das massive Abstandsstück 7 nicht so fixiert wird. Das oberste Pellet der Pellets 5, welches den oberen Brüterbereich bildet, wird durch Anlage am unteren Ende der inneren Hülse 13 fixiert.

Um lokale Brennstoffvolumenreduzierungen des Brennstoffes 3 vorzusehen (welche in der Hülle 2 vorgeformt werden, bevor Brennstoff eingefüllt wird), sind drei Durchmesserreduzierungen 19 vorhanden, welche über die mit Brennstoff versehene Länge von 915 mm angeordnet sind. Zweckmäßig beträgt der Abstand zwischen den Reduzierungen 19 konstant 228,6 mm. Die Durchmesserreduzierungen werden bis 5,334 mm vorgesehen (was eine Reduzierung von etwa 10% darstellt) oder sogar bis 5,207 mm (was eine Reduzierung von etwa 12,5% darstellt) und können ohne Brechen oder Reißen sehr gut durch Kaltverformung erreicht werden. Die axiale Länge der Reduzierungen beträgt 6,35 mm mit flachen Übergängen von mit einer axialen Länge von 5,842 mm. Alternativ kann ein Kaltdrücken, beispielsweise unter Verwendung von in den britischen Patentschriften 9 46 407 und 9 87 988 beschriebenen Vorrichtungen, verwendet werden, um die Durchmesserreduzierungen herzustellen; es wird jedoch empfohlen, eine Reduzierung von etwa 10% nicht zu überschreiten, wenn dieses Verfahren angewandt wird, da sonst ein Bohrungsbruch die Folge sein könnte. Eine weitere Alternative zur Herstellung der Durchmesserreduzierungen ist die Anwendung von Hochenergiestoßwellen, wobei für die gewünschte Deformierung ein Dorn entsprechend dem gewünschten Reduzierungsprofil verwendet wird.

Die Hülle 20 der in Fig. 3 dargestellten Bauart eines teilweise dargestellten Brennstoffstabes 21, die am einen Ende geschlossen und abgedichtet ist (nicht dargestellt, jedoch wie anhand der Fig. 1, 2A und 2B beschrieben), kann in ihrem Brennstoffbereich und am oberen Ende der unteren axialen Brüterpellets und Abstandsstücke, wie in Fig. 2B dargestellt, mit einer vorbestimmten Anzahl glatter zylindrischer oder, wie dargestellt, ringförmiger Brennstoffpellets 22 versehen werden, dann einem örtlichen Zusammendrücken bei 23 unmittelbar über dem Stapel von Pellets 22 unterworfen werden, kann eine dünne Scheibe 25 aus Molybdän oder Edelstahl auf dem Pelletstapel aufweisen, es kann keramisches Brennstoffpulver 24 in einer Menge eingefüllt werden, die ausreicht, um das reduzierte

Volumen und ein wenig mehr einzunehmen. Sie kann dann einer Vibration unterworfen werden, um das Pulver 24 zu verdichten. Eine andere dünne Scheibe 26 aus Molybdän oder Edelstahl kann daraufhin oben auf das verdichtete Pulver aufgebracht werden; die gleiche vorbestimmte Anzahl von Brennstoffpellets 22 wird dann oben auf die Scheibe 26 aufgebracht. Die Hülle wird daraufhin einem örtlichen Drückvorgang unterworfen, und zwar gerade über den zuletzt zugefügten Pellets 22 und so weiter, bis die vorbestimmte, mit Brennstoff versehene Länge ausreichend gefüllt ist. Ihr offenes oberes Ende kann nach dem Einbringen des Abstandstücks und der Pellets des oberen Brüterbereichs zusammengepreßt und abgedichtet werden, wie in Fig. 2A dargestellt. Der Zweck der Scheiben 25, 26 besteht darin, Pulver 24 daran zu hindern, sich über das zentrale Loch 27, das durch die ringförmigen Pellets gebildet wird, neu zu orientieren; das Vorhandensein der Scheiben 25, 26 ist bei vollen zylindrischen Pellets nicht erforderlich. Jedoch unterstützen die Scheiben 25, 26, wenn vorgesehen, die Bildung eines »kühlen« Brennstoffvolumens im Bereich der Durchmesserreduzierungen, da sie, weil sie nämlich bessere Wärmeleiter als der Brennstoff sind, die Ableitung von Wärme von den zentralen Bereichen der genannten Volumina weg begünstigen, und zwar nach der Hülle hin, wo solche Wärme durch das Kühlmittel abgeführt wird, das axial über den Brennstoffstab strömt.

Es sei darauf hingewiesen, daß bei allen dargestellten Ausführungsformen ein enger Kontakt zwischen der Hülle und dem Brennstoff in den Bereichen der Durchmesserreduzierung der Hülle besteht. Somit wird

eine gute Wärmeübertragung in diesen Bereichen beibehalten, wie sie bereits in den übrigen Bereichen besteht, und das Zustandebringen einer Reduzierung der mittigen Temperatur des Brennstoffs in Übereinstimmung mit den Durchmesserreduzierungen wird dadurch erreicht. In Fällen, wo die Brennstoffpellets ringförmig ausgebildet sind, besteht der Sinn und Zweck eines zentralen Loches darin, ein Schmelzen des Brennstoffs im Zentrum während des Normalbetriebs zu reduzieren oder zu verhindern wie auch einen Durchgang für Spaltprodukte, die im Brennstoff erzeugt werden, nach der Kammer (12 in Fig. 2B) hin vorzusehen, die im kühlen Ende des Brennstoffstabes vorgesehen ist, oder nach Mitteln (nicht dargestellt), die die Spaltprodukte nach dem äußeren Kühlmittel hin fördern. Es sei ferner darauf hingewiesen, daß bei ringförmigen Pellets ein Temperaturschlag ein Schmelzen des Brennstoffs rund um die zentrale Bohrung der Pellets herum hervorrufen kann; man kann erwarten, daß bei allen, mit Ausnahme von äußerst starken Temperaturschlägen, durch das Vorsehen von Durchmesserreduzierungen ein solches Schmelzen in Höhe solcher Reduzierungen verhindert wird und ringförmige »Plattformen« von nicht geschmolzenem Brennstoff gebildet werden, wodurch eine Neuorientierung des Brennstoffs und unterschiedliche Wärmeausdehnungen zwischen Brennstoff und Hülle verhindert werden.

Urankarbid oder gemischte Uran- und Plutoniumkarbide können alternativ als Brennstoffmaterial verwendet werden.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen
