CH 658 535 A5

(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 658 535 A5

(51) Int. Cl.⁴: G 21 C 3/32

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(21) Gesuchsnummer: 2452/82

(22) Anmeldungsdatum: 22.04.1982

(30) Priorität(en): 29.04.1981 US 258639

(24) Patent erteilt: 14.11.1986

(45) Patentschrift veröffentlicht: 14.11.1986

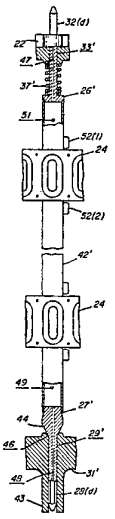
(73) Inhaber:
General Electric Company, Schenectady/NY (US)

(72) Erfinder:
Dunlap, Thomas Gerald, San Jose/CA (US)
Jameson, William George, jun., San Jose/CA (US)
Mefford, Carl Rayford, Los Gatos/CA (US)
Nelson, Harold Lee, San Jose/CA (US)
Cearley, James Elwood, San Jose/CA (US)

(74) Vertreter:
Dr. A. R. Egli & Co., Patentanwälte, Zürich

(54) Kernbrennstoffkassette mit einem Kühlmittel führenden Rohr.

(57) Bei der Kernbrennstoffkassette wird ein Kühlmittel-führendes Rohr (42') verwendet, das die Abstandshalter (24) für die Brennstoffstäbe in ihren axialen Positionen hält. Die Brennstoffstäbe erfahren während des Reaktorbetriebes eine grössere axiale Ausdehnung als das Wasserrohr (42'), wodurch das Risiko entsteht, dass sich das Wasserrohr (42') aus den Halteplatten (22) löst. Eine Anordnung verhindert ein solches Lösen, die verlängerte Endstopfenschäfte (28d) für das Wasserrohr (42'), einen schützenden Ansatz, der den Schaft (28d) des unteren Endstopfens (27') umgibt, um ihn vor strömungsinduzierter Vibration zu schützen, einen konischen Sitz (46) für den unteren Endstopfen (27') und eine Anordnung zum Begrenzen der Bewegung des Wasserrohres (42') nach oben einschliesst.



PATENTANSPRÜCHE

1. Kernbrennstoffkassette (20) mit einer Vielzahl von Kernbrennstoffstäben (21), von denen jeder mit einem oberen und einem unteren Endstopfen (26, 26'; 27, 27') mit sich axial erstreckenden Schäften (32) versehen ist, einer Halteeinrichtung (22, 23, 24, 31) mit einer Vielzahl von Haltepositionen, um die Brennstoffstäbe (21) in einer beabstandeten Anordnung zu halten, wobei die Halteeinrichtung eine untere Halteplatte (23) mit einem Stützgitter (31) einschliesst, das mit Halteöffnungen (29) zur Aufnahme der Schäfte (32) der unteren Endstopfen (26, 26'; 27, 27') der Brennstoffstäbe (21) ausgebildet ist und die Halteeinrichtung weiter eine obere Halteplatte (22) einschliesst, die Halteöffnungen (29') zur Aufnahme der Schäfte (32d) der oberen Endstopfen (26, 26') der Brennstoffstäbe (21) aufweist, wobei die Schäfte (28d) der unteren Endstopfen (27, 27') ausgewählter Brennstoffstäbe (21) in den Halteöffnungen (29') des Stützgitters (31) der unteren Halteplatte (23) gesichert sind und die Schäfte (32d) der oberen Endstopfen (26, 26') der ausgewählten Brennstoffstäbe (21) sich über die obere Oberfläche der oberen Halteplatte (22) hinaus erstrecken und mit einer Halteeinrichtung versehen sind, um die obere Halteplatte darauf festzuhalten, weiter Ausdehnungsfedern (37) auf den Schäften (32d) der oberen Endstopfen (26) der Brennstoffstäbe (21) zwischen den Brennstoffstäben (21) und der oberen Halteplatte (22) vorhanden sind, um die obere Halteplatte (22) gegen die Halteeinrichtung zu drücken, wobei die als Ergebnis der Bestrahlung auftretende axiale Ausdehnung der Brennstoffstäbe (21) den Abstand zwischen der oberen und der unteren Halteplatte (22, 23) vergrössert, ein Kühlmittelführendes Rohr (42') in einer der Haltepositionen angeordnet ist, wobei das Kühlmittel-führende Rohr (42') mit einem oberen Endstopfen (26') versehen ist, der einen sich axial erstreckenden Schaft (32d) aufweist, der in eine Halteöffnung (29) in der oberen Halteplatte (22) eingreift und das Kühlmittel-führende Rohr (42) weiter einen unteren Endstopfen (27') aufweist, der einen sich axial erstreckenden Schaft (28d) hat, der in eine Halteöffnung (29') des Stützgitters (31') der unteren Halteplatte (23) eingreift, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaft (32d) des oberen und der Schaft (28d) des unteren Endstopfens des Kühlmittel führenden Rohres (42') verlängert sind und sich über die obere Oberfläche der oberen Halteplatte (22) und unter die untere Oberfläche des Stützgitters (31') ausreichend weit erstrecken, um ein Lösen dieser Schäfte aus ihren Halteöffnungen (33', 29') bei der Vergrösserung des Abstandes zwischen der oberen (22) und der unteren Halteplatte (23') durch die axiale Ausdehnung der Brennstoffrohre (21) zu verhindern.

2. Brennstoffkassette nach Anspruch 1, gekennzeichnet, durch eine Einrichtung (37') zum Begrenzen der Bewegung des das Kühlmittel führenden Rohres (42') nach oben in Richtung auf die obere Halteplatte (22), wobei die Verlängerung des Schaftes (28 d) des unteren Endstopfens (27'), die erforderlich ist, um ein Lösen dieses Schaftes (28 d) aus seiner Halteöffnung (29') in dem Stützgitter (31') der unteren Halteplatte (23') auszuschliessen, minimal gehalten wird.

3. Brennstoffkassette nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (37') zum Begrenzen der Bewegung des Rohres (42') nach oben eine spulenförmige Ausdehnungsfeder (37') einschliesst, die passend auf dem Schaft (32 d) des oberen Endstopfens des Kühlmittel führenden Rohres (42') sitzt, wobei diese Ausdehnungsfeder (37') mit mindestens zwei Wicklungen ausgebildet ist, die einen engen Abstand zueinander haben, um ihre Länge im zusammengepressten Zustand zu vergrössern.

4. Brennstoffkassette nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zum Begrenzen der Bewegung des Rohres (42') nach oben ein unteres Endstück (30) des Schaftes (32 e) des oberen Endstopfens des Rohres (42') einschliesst, der einen ausreichend vergrösserten Durchmesser hat, um den Eintritt des unteren Teiles des Schaftes in die Halteöffnung (33') in der oberen Halteplatte (22) zu verhindern.

5. Brennstoffkassette nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der untere Endstopfen (27') des Kühlmittel führenden Rohres (42') mit einem konischen Abschnitt (44) ausgebildet ist, der in einen konischen Sitz (46) seiner Halteöffnung (29') in dem Stützgitter (31') passt, wodurch die seitliche Bewegung des unteren Endes des Kühlmittel führenden Rohres minimal gehalten ist.

6. Brennstoffkassette nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Einrichtung (49) im unteren Ende des Kühlmittel führenden Rohres (42') aufweist, durch die Kühlmittel in das Rohr eintreten kann sowie eine Einrichtung (51) im oberen Abschnitt des Rohres, durch die Kühlmittel aus dem Rohr austreten kann.

7. Brennstoffkassette nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie noch ein zweites Kühlmittel führendes Rohr (53) in einer anderen der Haltepositionen aufweist, wobei dieses zweite Kühlmittel führende Rohr (53) mit einem oberen und einem unteren Endstopfen versehen ist, die jeweils sich axial erstreckende verlängerte Schäfte (28 e) aufweisen, die sich über die obere Oberfläche der oberen Halteplatte (22) und unter die untere Oberfläche des Stützgitters (31') erstrecken.

8. Brennstoffkassette nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Vielzahl axial im Abstand zueinander angeordneter Abstandshalter (24) zum seitlichen Abstützen der Brennstoffstäbe (21) und des Kühlmittel führenden Rohres (42') aufweist und an dem Kühlmittel führenden Rohr die Abstandshalter in ihrer Position festhaltende Einrichtungen (52) befestigt sind, die mit den Abstandshaltern (24) in Eingriff gebracht werden, um deren axiale Verschiebung zu verhindern.

9. Brennstoffkassette nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaft (28 d) des unteren Endstopfens (27') des Kühlmittel führenden Rohres (42') und die daran angepasste Halteöffnung (29') in dem Stützgitter (31') mit einer Querschnittsgestalt ausgebildet sind, die die Rotation des Kühlmittel führenden Rohres verhindert, um so ein ausser Eingriff geraten der die Abstandshalter in ihrer Lage haltendenden Einrichtung und der Abstandshalter zu verhindern.

10. Brennstoffkassette nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass unterhalb des Stützgitters (31') eine kühlmittelaufnehmende Kammer (41) vorhanden ist und die passende Halteöffnung (29') mit einem Ansatz (43) ausgebildet ist, der sich nach unten in die kühlmittelaufnehmende Kammer (41) erstreckt und den verlängerten Schaft (28 d) des unteren Endstopfens (27') umgibt und ihn so vor der Kühlmittelströmung in der genannten Kammer schützt, wodurch eine durch diese Strömung induzierte Vibration des Schaftes verhindert ist.

11. Brennstoffkassette nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (52(1), 52(2)), die die Abstandshalter (24) in ihren axialen Positionen hält, sich radial erstreckende Ansätze umfasst, die an dem Kühlmittel führenden Rohr (42') befestigt und oberhalb und unterhalb jedes der Abstandshalter (24) angeordnet sind.

Die Erfindung betrifft eine Kernbrennstoffkassette mit einem Kühlmittel führenden Rohr gemäss dem Oberbegriff des ersten Anspruches.

In bekannten Arten von Kernenergie-Reaktoren, wie sie z.B. in der Kernenergiestation Dresden bei Chicago, Illinois benutzt werden, umfasst der Reaktorkern eine Vielzahl von im Abstand zueinander angeordneten Brennstoffkassetten, die so angeordnet sind, dass eine sich selbst unterhaltende Kernspaltreaktion stattfindet. Der Kern ist in einem Druckgefäss enthalten, in dem er sich in einer Arbeitsflüssigkeit eingetaucht befindet, wie leichtem Wasser, das sowohl als Kühlmittel wie auch als Neutronenmoderator dient.

Jede Brennstoffkassette umfasst einen entfernbaren rohrförmigen Strömungskanal von üblicherweise quadratischem Querschnitt, der eine Anordnung von langen, eine Umhüllung aufweisenden Brennstoffelementen oder -stäben, die geeignetes Brennstoffmaterial, wie Uran- oder Plutoniumoxid enthalten, umgibt, wobei die Brennstoffelemente zwischen einer oberen und einer unteren Halteplatte abgestützt sind.

Die Brennstoffkassetten ihrerseits sind im Abstand zueinander in dem Druckgefäss zwischen einem oberen Kerngitter und einer unteren Kernhalterung abgestützt.

Die untere Halteplatte jeder Brennstoffkassette ist mit einem Nasenstück ausgebildet, die in einen Trägersockel zur Verbindung mit einer unter Druck stehenden Kühlmittelkammer passt. Das Nasenstück ist mit Öffnungen ausgebildet, durch die das unter Druck stehende Kühlmittel durch die Strömungskanäle der Brennstoffkassette nach oben strömt, um die Wärme von den Brennstoffelementen zu entfernen. Eine typische Brennstoffkassette dieser Art ist z.B. in der US-PS 3 689 358 beschrieben. Ein Beispiel eines Brennstoffelementes oder -stabes ist in der US-PS 3 378 458 beschrieben.

Weitere Information über Kernenergiereaktoren kann man dem Buche «Nuclear Power Engineering» von M.M. El-Wakil, erschienen 1962 in der McGraw-Hill Book Company, Inc. entnehmen.

Eine typische Brennstoffkassette wird z.B. von einer Anordnung von 8 × 8 im Abstand voneinander befindlichen Brennstäben gebildet, die zwischen einer oberen und einer unteren Halteplatte getragen sind, wobei die Stäbe eine Länge von einigen 30 cm haben und ihr Durchmesser in der Grössenordnung von 1,2 cm liegt. Der Abstand, den die einzelnen Brennstoffstäbe voneinander haben, ist ein Bruchteil von 2,5 cm. Um eine geeignete Kühlmittelströmung entlang den Brennstoffstäben zu schaffen, ist es wichtig, die Brennstoffstäbe in einer festgelegt beabstandeten Beziehung zueinander zu halten und sie daran zu hindern, sich während des Reaktorbetriebes zu verbiegen und zu vibrieren. Zu diesem Zweck wird eine Vielzahl von Abstandshaltern über die Länge der Brennstoffkassette verteilt. Solche Abstandshalter sind z.B. in der US-PS 3 654 077 beschrieben.

Ein Problem bei der Schaffung einer solchen Brennstoffkassette besteht darin, eine wirksame Struktur zu schaffen, um die Abstandshalter für die Brennstoffstäbe in ihren axial beabstandeten Positionen zu halten, ohne dass hierfür zu viel Baumaterialien erforderlich sind. In einigen früheren Brennstoffkassetten sind für diesen Zweck spezielle Bauteile geschaffen worden. Es ist jedoch von ausserordentlicher Bedeutung, die Mengen an Baumaterial in einem Brennstoffkern so gering wie möglich zu halten, da solche Materialien Neutronen einfangen und daher eine zusätzliche Menge an kostbarem Brennstoff erfordern, um diesen Neutronenverlust zu kompensieren.

Es ist daher unerwünscht, ein Bauteil zu verwenden, dessen einziger Zweck darin besteht, die Abstandshalter in ihrer Lage zu halten.

In anderen bekannten Brennstoffkassetten sind die Abstandshalter durch Eingriff mit Ansätzen, Ösen, Zapfen, Stiften oder dergleichen auf ein oder mehreren der Brennstoffstäbe axial gehalten worden. Der Einsatz eines Brennstoffstabes, der geeignet ist, einen Abstandshalter in seiner Position zu halten, bringt jedoch Probleme hinsichtlich der Hochtemperaturbeständigkeit in Anbetracht der Tatsache mit sich, dass es erforderlich ist, die Umhüllungsdicke eines Brennstoffstabes möglichst gering zu halten.

Eine wirksame Halterung für die Abstandshalter ist in der US-PS 3 802 995 beschrieben, bei der die Abstandshalter durch Eingriff mit Ansätzen, Stiften, Ösen oder dergleichen, die von einem Kühlmittel führenden Rohr vorstehen, das in einer inneren Lage in der Brennstoffkassette angeordnet ist, in ihrer axialen Position gehalten werden. Dieses Kühlmittel führende Rohr erfüllt die zusätzliche Funktion, die Neutronenmoderation in der inneren Zone der Brennstoffkassette zu verstärken.

Da sich der Trend zu einem höheren Brennstoffabbrand, d.h. einer längeren Aufenthaltszeit der Brennstoffkassetten im Kern, fortsetzt, ergibt sich ein mögliches Problem im Zusammenhang mit dem Einsatz des die Abstandshalter an Ort und Stelle haltenden Kühlmittel führenden Rohres. Dieses Problem ergibt sich aus der Möglichkeit, das sich der am oberen oder unteren Endstopfen des Kühlmittel führenden Rohres, im folgenden abgekürzt Wasserrohr genannt, befindliche Schaft aus seinem Haltehohlraum lösen kann, weil sich in der Reaktorkernumgebung die Brennstoffstäbe mehr axial ausdehnen als das Wasserrohr.

In der eine hohe Temperatur und eine starke Neutronen- und Gammastrahlung aufweisenden Umgebung des Reaktorkernes erfahren sowohl die Brennstoffstäbe als auch die Wasserrohre eine permanente axiale Ausdehnung. Wegen der mechanischen Wechselwirkung des Umhüllungsrohres des Brennstoffelementes mit den darin enthaltenen Brennstoffpellets und der höheren Temperaturen des das Umhüllungsrohr bildenden Metalles ist jedoch die axiale Ausdehnung der Brennstoffstäbe beträchtlich grösser. Je länger die Brennstoffstäbe dieser strahlenreichen Umgebung ausgesetzt sind, um so mehr dehnen sie sich axial aus und insbesondere um so grösser ist der Unterschied in der Ausdehnung zwischen den Brennstoffelementen und dem Wasserrohr einer Brennstoffkassette. Ist dieser Unterschied in der Längenausdehnung gross genug geworden, dann kann es passieren, dass sich die Stäbe der Endstopfen des Wasserrohres aus ihren Haltehohlräumen lösen. Sollte ein solches Lösen stattfinden, dann würde die durch die Kühlmittelströmung induzierte Vibration des nun nicht mehr abgestützten Endstückes des Wasserrohres gross genug werden, um das Wasserrohr in Berührung mit den benachbarten Brennstoffelementen zu bringen und diese möglicherweise zu schädigen.

Der vorliegenden Erfindung lag daher die Aufgabe zugrunde, die vorstehend beschriebene Anordnung zum Halten der Abstandshalter der Brennstoffstäbe mittels eines Wasserrohres dahingehend zu verbessern, dass die Gefahr einer Lösung des Wasserrohres aus seinen Verankerungen im wesentlichen ausgeschlossen wird.

Diese Aufgabe ist mittels der Merkmale des Kennzeichnungsteiles des ersten Anspruches gelöst.

Dabei wird eine die Abstandshalter an Ort und Stelle haltende Anordnung mit einem Wasserrohr verwendet, bei dem der Schaft des oberen Endstopfens des Wasserrohres ausreichend verlängert ist, um sein Herauslösen aus seiner Halteöffnung in der oberen Halteplatte unter allen denkbaren Betriebsbedingungen zu verhindern. Der Schaft des unteren Endstopfens des Wasserrohres ist in ähnlicher Weise verlängert, um sein Herauslösen aus der Halteöffnung in der unteren Halteplatte zu verhindern.

Um das Ausmass der erforderlichen Verlängerung des Schaftes des unteren Endstopfens möglichst gering zu halten, wird der Abstand, um den sich das Wasserrohr mit Bezug auf die Halteplatte nach oben bewegen kann, begrenzt.

Diese Begrenzung der Bewegung des Wasserrohres nach oben kann dadurch bewerkstelligt werden, dass man eine Dehnungsfeder auf den Schaft des oberen Endstopfens zwischen dem oberen Ende des Wasserrohres und der unteren Oberfläche der oberen Halteplatte aufsetzt, wobei die Ausdehnungsfeder mehrere, einen geringen Abstand voneinander habende Wicklungen aufweist und die zusammengedrückte Länge dieser Ausdehnungsfeder mit Bezug auf die zusammengepresste Länge der Ausdehnungsfedern auf den Brennstoffstäben verlängert ist.

Alternativ kann die Bewegung des Wasserrohres nach oben dadurch begrenzt werden, dass man den unteren Abschnitt des Schaftes des oberen Endstopfens des Wasserrohres mit einem ausreichend vergrösserten Durchmesser ausbildet, um den Eintritt dieses vergrösserten Abschnittes in den Haltehohlraum für den Schaft des Endstopfens in der oberen Halteplatte zu verhindern.

Um die Freigabe der Abstandshalter zu verhindern, muss das die Abstandshalter festhaltende Wasserrohr an der Rotation gehindert werden. Dies kann dadurch bewerkstelligt werden, dass man den Schaft des unteren Endstopfens mit einem nicht kreisförmigen Querschnitt versieht, wie einem quadratischen oder hexagonalen Querschnitts, wobei die Halteöffnung in der unteren Halteplatte in einer passenden Gestalt ausgebildet ist. Turbulente Kühlmittelströmungen im Nasenstück der unteren Halteplatte, die auf einen freigelegten verlängerten Schaft des unteren Haltestopfens mit nicht kreisförmigem Querschnitt einwirken, können dessen Vibration verursachen.

Um eine solche Vibration zu verhindern, kann die Nabe bzw. der Vorsprung, in der die untere Halteöffnung gebildet ist, von dem Stützgitter der unteren Halteplatte aus soweit nach unten ausgedehnt werden, dass der verlängerte Schaft des unteren Endstopfens des Wasserrohres davon umgeben und somit vor dem turbulenten Kühlmittel geschützt ist. Weiter wird der untere Endstopfen des Wasserrohres mit einem konischen Abschnitt ausgebildet, der mit einem konischen Sitz im oberen Abschnitt der Halteöffnung zusammenpasst, um so den unteren Endstopfen an seitlichen Bewegungen zu hindern.

Im folgenden wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Im einzelnen zeigen:

Figur 1 einen Längsschnitt einer Brennstoffkassette mit einem Wasserrohr, wie sie beispielhaft ist für den Stand der Technik,

Figur 2 einen Längsschnitt einer Brennstoffkassette, die das ausser Eingriff geraten des Schaftes des oberen Endstopfens des Wasserrohres bei der Einheit nach Figur 1 illustriert,

Figur 3 einen Längsschnitt einer Brennstoffkassette, der das ausser Eingriff geraten des Schaftes des unteren Endstopfens des Wasserrohres der Brennstoffkassette nach Figur 1 veranschaulicht,

Figur 4A einen Längsschnitt einer Brennstoffkassette mit der Ausbildung des Wasserrohres gemäss der vorliegenden Erfindung,

Figur 4B eine andere Ausführungsform zum Begrenzen der Bewegung des Wasserrohres nach oben,

Figur 5 eine Seitenansicht, teilweise im Schnitt, eines gemäss der vorliegenden Erfindung ausgebildeten Wasserrohres, das die Abstandshalter für die Brennstoffstäbe an Ort und Stelle hält, wobei Teile der Komponenten der Brennstoffkassette gezeigt sind, die die Merkmale der vorliegenden Erfindung besser verdeutlichen und

Figur 6A und 6B Detailquerschnitte, die das Ineinandergreifen des die Abstandshalter an Ort und Stelle haltenden Wasserrohres mit diesen Abstandshaltern für die Brennstoffstäbe veranschaulichen,

Figur 1 zeigt beispielhaft für den Stand der Technik eine Brennstoffkassette 20 mit einem Wasserrohr zum Halten der Abstandshalter für die Brennstoffstäbe an Ort und Stelle. Die Brennstoffkassette weist eine Vielzahl von Brennstoffstäben 21 auf, die zwischen einer skelettartig ausgebildeten oberen Halteplatte 22 und einer unteren Halteplatte 23 abgestützt sind. Die Brennstoffstäbe verlaufen durch mehrere Abstandshalter 24, die die langgestreckten Brennstoffstäbe über ihre Länge verteilt seitlich abstützen und so den Abstand zwischen ihnen aufrechterhalten.

Jeder Brennstoffstab 21 besteht aus einem langgestreckten Rohr aus einem geeigneten Material, wie einer Zirkoniumlegierung, das spaltbaren Brennstoff und andere Materialien wie Brutstoffe, abbrennbare Neutronenabsorber, inertes Material und ähnliches enthält, wobei das Rohr durch obere und untere Endstopfen 26 und 27 abgedichtet ist. Die unteren Endstopfen 27 sind mit Schäften 28(a) ausgebildet, die in Stützöffnungen 29 in einem gerüstartig geformten Stützgitter 31 der unteren Halteplatte 23 ausgebildet sind, abgestützt sind. Die oberen Endstopfen 26 sind mit den Schäften 32(a) ausgebildet, die in die Stützöffnungen 33 in der oberen Halteplatte 22 passen.

Einige der Stützöffnungen 29, z.B. einige ausgewählte der an der Peripherie liegenden Öffnungen, in dem Stützgitter 31 sind mit Gewinde ausgebildet, um mit einem entsprechenden Gewinde versehene Schäfte 28(b) der unteren Endverschlüsse aufzunehmen. Die Schäfte 32(b) der oberen Endstopfen der gleichen Brennstoffstäbe sind verlängert, um durch ihre Halteöffnungen 33 in der oberen Halteplatte 22 hindurchzuragen, und sie sind ebenfalls mit Gewinde ausgebildet, um Haltemuttern 34 aufzunehmen, die durch verriegelnde Abdeckteile an der Rotation gehindert sind. Spiralförmige Ausdehnungsfedern 37, die auf die Schäfte der oberen Endstopfen aufgepasst sind, drücken die obere Halteplatte von den Brennstoffstäben 21 weg nach oben gegen die Muttern 34. Auf diese Weise werden die obere und die untere Halteplatte sowie die Brennstoffstäbe zu einer einheitlichen Struktur.

Die untere Halteplatte 23 ist mit einem Nasenstück 38 ausgebildet, das die Brennstoffkassette 20 in einem nicht dargestellten Haltesockel im Kernreaktor abstützt. Das Ende des Nasenstückes 38 ist mit Öffnungen 39 ausgebildet, die unter Druck stehendes Kühlmittel in eine Kühlmittelaufnahmekammer 41 einlassen, so dass dieses dann durch das gerüstartige Stützgitter 31 und an den Brennstoffstäben 21 entlang nach oben strömen kann.

Die Brennstoffkassette 20 weist weiter ein Wasserrohr 42 auf, durch das das Kühlmittel strömen kann und dieses Wasserrohr ersetzt üblicherweise einen Brennstoffstab in einer zentralen Position der Brennstoffkassette. Das Wasserrohr 42 ist aus einem hohlen wasserführenden Rohr geeigneten Materials, wie einer Zirkoniumlegierung, gebildet und mit oberen und unteren Endstopfen versehen. Sich radial erstreckende Ansätze, die die Abstandshalter an Ort und Stelle halten und die in Figur 1 nicht ersichtlich sind, sind an dem Wasserrohr 42 befestigt und befinden sich im Eingriff mit den Abstandshaltern 24, die sie an ihrer jeweiligen axialen Position halten.

Bei der Brennstoffkassette nach dem Stand der Technik sind die Endstopfen des Wasserrohres im allgemeinen ähnlich ausgebildet, wie die Endstopfen der Brennstoffrohre 21 mit der Ausnahme, dass sie zentrale Kühlmitteldurchgänge bzw. Bohrungen für die Kühlmittelströmung in und aus dem Wasserrohr aufweisen. Auch der Schaft 28(c) des unteren Endstopfens des Wasserrohres 42 ist z.B. mit einem quadratischen Querschnitt ausgebildet, um in einer Halteöffnung passender Form in dem Stützgitter 31 zu sitzen und so die

Rotation des Wasserrohres zu verhindern, wie dies mehr im einzelnen in der US-PS 3 802 995 beschrieben ist.

Bei der Ausführungsform nach dem Stand der Technik sind daher die Schäfte der Endstopfen des Wasserrohres 42 hinsichtlich ihrer Länge vergleichbar den Schäften der Endstopfen der Brennstoffstäbe 21. Bei der Bestrahlung der Brennstoffkassette 20 in einem Reaktorkern erfahren die Brennstoffstäbe 21 eine grössere axiale Ausdehnung als das Wasserrohr 42. Diese axiale Ausdehnung der Brennstoffstäbe vergrössert den Abstand zwischen der oberen Halteplatte 22 und der unteren Halteplatte 23 und dieser Abstand ist eine Funktion der Aufenthaltszeit der Brennstoffkassette im Kern. Wird die unterschiedliche Ausdehnung zwischen den Brennstoffstäben 21 und dem Wasserrohr 42 gross genug, dann ergibt sich die Gefahr, dass die Schäfte des oberen oder unteren Endstopfens des Wasserrohres sich aus ihrer Verankerung in den jeweiligen Halteöffnungen der Stützplatten lösen können.

Das Lösen des Schaftes 32(c) des oberen Endstopfens des Wasserrohres 42 aus seiner Halteöffnung in der oberen Halteplatte 22 ist in Figur 2 unter der Annahme gezeigt, dass die Abstandshalter 42 an ihrer axialen Position verbleiben und der Schaft 28(c) des unteren Endstopfens des Wasserrohres 42 an Ort und Stelle in der entsprechenden Halteöffnung in der unteren Halteplatte verbleibt. Tritt ein solches Lösen des Schaftes des oberen Verschlussstopfens des Wasserrohres auf, dann ist der oberste Abstandshalter 24 nicht mehr abgestützt und der durch die Kühlmittelströmung induzierten Vibration ausgesetzt, woraus sich die Möglichkeit ergeben kann, dass das vibrierende Ende des Wasserrohres 42 die benachbarten Brennstoffstäbe 21 berühren und beschädigen kann.

Figur 3 zeigt das Lösen des Schaftes 28(c) des unteren Endstopfens des Wasserrohres 42 aus seiner Halteöffnung im Stützgitter 31. Dies kann vorkommen, wenn die hydraulischen Kräfte der Kühlmittelströmung die Abstandshalter 24 nach oben drücken, wobei ihr Kontakt mit den Ansätzen auf dem Wasserrohr 42 dieses Wasserrohr nach oben bewegt und die Ausdehnungsfeder 37 des Wasserrohres dabei völlig zusammendrückt. Das so nicht mehr abgestützte untere Ende des Wasserrohres 42 würde dann ebenfalls der durch die Kühlmittelströmung induzierten Vibration ausgesetzt sein und gleichermassen die Möglichkeit beinhalten, dass es mit den benachbarten Brennstoffstäben 21 in Berührung kommen und diese beschädigen kann.

Das Problem des Lösens des Schaftes der Endstopfen des Wasserrohres aus seiner Verankerung, wie es in den Fig. 2 und 3 mit Bezug auf den Stand der Technik dargestellt ist, kann dadurch vermieden werden, dass man das Wasserrohr 42 mit Endstopfenschäften ausreichender Länge versieht. Es wurde jedoch festgestellt, dass ein ungeschützter Schaft des unteren Endstopfens, der sich unterhalb der unteren Oberfläche des Stützgitters 31 in die Kühlmittelaufnahmekammer 41 erstreckt und der z. B. einen quadratischen Querschnitt aufweist, der Vibration aufgrund der turbulenten Kühlmittelströmung in dieser Kammer 41 ausgesetzt ist, mit der daraus sich ergebenden Gefahr unangemessen hohen Abriebs am Schaft des Endstopfens und seinem Haltesockel. Ein ausreichender Abrieb dieser Teile kann z. B. dazu führen, dass eine Rotation des Wasserrohres 42 möglich wird, woraus sich ein Lösen der Ansätze des Wasserrohres 42 von den Abstandshaltern 24 ergibt.

Die Massnahmen, die zuverlässig das Lösen der Enden des Wasserrohres aus ihren Verankerungen verhindern, sind in den Figuren 4A, 4B und 5 gezeigt.

Das die Abstandshalter für die Brennstoffstäbe in ihrer axialen Stellung haltende Wasserrohr 42′ ist mit einem oberen Endstopfen 26′ versehen, der einen verlängerten Schaft 32(d) aufweist sowie mit einem unteren Endstopfen 27′, der ebenfalls einen verlängerten Schaft 28(d) aufweist, wobei die Längen der Schäfte 32(d) und 28(d) so ausgewählt sind, dass sie ein Lösen der Schäfte aus ihren Halteöffnungen 33′ und 29′ unter allen denkbaren Betriebsbedingungen vermeiden.

Um die erforderliche Verlängerung des Schaftes 28(d) des unteren Endstopfens möglichst gering zu halten, ist die Ausdehnungsfeder 37′ des Wasserrohres, die auf den Schaft 32(d) zwischen dem oberen Endstopfen 26′und der oberen Halteplatte 22 angeordnet ist, mit mehreren Wicklungen ausgebildet, die einen geringen Abstand voneinander haben, z. B. 10 von insgesamt 25 Windungen, um die zusammengepresste Länge der Fede 37′ zu verlängern und dadurch die zulässige Bewegung des Wasserrohres 42′ nach oben zu begrenzen.

Eine andere Ausführungsform, mit der die erforderliche Verlängerung des Schaftes 28(d) des unteren Endstopfens möglichst gering gehalten wird, indem man die mögliche Bewegung des Wasserrohres 42′ nach oben begrenzt, ist in Figur 4B gezeigt. Der Schaft 32(e) des oberen Endstopfens ist nicht nur verlängert, sondern auch mit einem unteren Abschnitt 30 vergrösserten Durchmessers ausgebildet. Der Durchmesser des Abschnittes 30 ist ausreichend, um das Eindringen des Abschnittes 30 in die Halteöffnung 33′ in der oberen Halteplatte 22 zu verhindern, so dass dadurch die Bewegung des Wasserrohres 42′ nach oben begrenzt wird. Der verdickte Abschnitt 30 hat jedoch einen ausreichend kleinen Durchmesser, um die übliche Ausdehnungsfeder 37 aufzunehmen, so dass hierfür keine spezielle Ausdehnungsfeder erforderlich ist. Das obere Ende des Abschnittes 30 ist vorzugsweise mit einer Abschrägung 35 ausgebildet, um ein Hängenbleiben der Ausdehnungsfeder 37 an dieser Stelle zu verhindern, wenn die Feder auf den Schaft geschoben wird. Die axiale Länge des Abschnittes 30 ist so ausgewählt, dass ein ausreichender Abstand zwischen dem oberen Ende des Abschnittes 30 und dem Bodenteil der oberen Halteplatte 22 besteht, der notwendig ist, um die erforderlichen Toleranzen beim Zusammenbauen zu haben.

In seiner ursprünglichen Lage erstreckt sich der Schaft 32(d) des oberen Endstopfens des Wasserrohres 42′ (vgl. Figur 5) ungeschützt über die obere Oberfläche der oberen Halteplatte 22 hinaus. Das freie Stück des Schaftes 32(d) hat einen kreisförmigen Querschnitt und präsentiert somit kein weiteres Problem, da solche Endstopfenschäfte, die kreisförmig im Querschnitt sind, einer merklichen, durch die Kühlmittelströmung induzierten Vibration nicht ausgesetzt sind.

Demgegenüber ist der nicht-kreisförmig gestaltete Schaft 28(d) des unteren Endstopfens einer möglichen, durch die turbulente Kühlmittelströmung in der Kammer 41 induzierten Vibration ausgesetzt. Um eine solche Vibration zu verhindern, ist der Schaft 28(d) des unteren Endstopfens von einem Anguss bzw. Vorsprung 43 umgeben, der sich von der unteren Oberfläche des Stützgitters 31′ aus nach unten erstreckt. Der Ansatz 43 stellt somit eine verlängerte Halteöffnung 29 vergrösserter seitlicher Stützfläche zur Verfügung.

Um die mögliche Vibration des unteren Endes des Wasserrohres 42′ weiter zu verhindern, ist der untere Endstopfen 27′ mit einem abgeschrägten bzw. konischen unteren Endstück 44 ausgebildet, das in einem passenden konischen Sitz 46 in dem oberen Endstück der Halteöffnung 29′ eingreift. Diese konische Sitzanordnung reduziert das seitliche Spiel und hilft damit, die Vibration des Endstopfens 27′ und seines Schaftes 28(d), verglichen mit dem einfachen Sitz nach dem Stand der Technik, weiter zu verringern.

Der Schaft 28(d) des unteren Endstopfens und die dazu passende Halteöffnung 29′ sind mit einem anderen als mit einem kreisförmigen Querschnitt ausgebildet, um die Rotation des Wasserrohres 42′ zu verhindern. Obwohl auch andere

Formen, wie ein quadratischer Querschnitt benutzt werden können, ist eine hexagonale Gestalt des Querschnittes bevorzugt, da dann weniger Metall aus der Halteöffnung 29′ entfernt werden muss, was z.B. durch Ausräumen bzw. Nachbohren erfolgen kann.

Um für eine Strömung des Kühlmittel/Moderators durch das Wasserrohr 42′ zu sorgen, kann der rohrförmige Teil des Wasserrohrs 42′ mit einer Vielzahl von Einlassöffnungen 49 für das Kühlmittel an seinem unteren Ende und einer Vielzahl von Auslassöffnungen 51 für das Kühlmittel nahe seinem oberen Ende ausgebildet sein. Zusätzlich oder anstelle dieser Öffnungen können die Endstopfen 26′ und 27′ mit Längsbohrungen bzw. Durchgängen 47 und 48 ausgebildet sein.

Um die Abstandshalter 24 in axial beabstandeter Position zu halten, ist das Wasserrohr 42 mit einem Paar sich axial erstreckender Ansätze für jeden der Abstandshalter 24 ausgebildet, wie das in Figur 5 gezeigte Paar von Ansätzen 52(1) und 52(2), von denen sich eines oberhalb des Abstandshalters und eines unterhalb des Abstandshalters axial erstreckt, so dass der Abstandshalter 24 dazwischen festgehalten ist. Vorzugsweise haben die Ansätze 52(1) und 52(2) einen etwas grösseren Abstand, als der Höhe des Abstandshalters 24 entspricht.

Die Einführung des die Abstandshalter 24 in der axialen Position haltenden Wasserrohres 42′ in die Brennstoffkassette 20′ und das in Eingriff setzen der den Abstandshalter haltenden Ansätze 52(1) und 52(2) mit den Abstandshaltern ist in den Figuren 6A und 6B dargestellt. Ein Durchgang 55 durch die Abstandshalter 24 für das Wasserrohr 42′ wird aus miteinander verriegelten Trennstäben 56 und 57 gebildet, wie dargestellt und mehr im Detail in der US-PS 3 654 077 beschrieben. Das Wasserohr 42′ wird so in den Durchgang 55 eingeführt, das, wie in Figur 6A gezeigt, sich die Ansätze 52(1) und 52(2) längs der Diagonale des Durchgangs erstrekken und es wird in dieser Lage nach unten bewegt, bis sich jeder Abstandshalter 24 zwischen einem Paar solcher Ansätze befindet. Dann dreht man das Wasserrohr 42′ in die in Figur 6B gezeigte Lage, wobei sich die Ansätze 52(1) über und die Ansätze 52(2) unter die Teilungsstäbe 56 der Abstandshalter erstrecken. Mit den so festgelegten Abstandshaltern werden das Wasserrohr 42′ und die Abstandshalter 24 nun nach unten bewegt, bis der Schaft 28(d) des unteren Endstopfens mit dem anderen als kreisförmigen Querschnitt in seine passende Halteöffnung 29′ eingeführt ist, um die Rotation des Wasserrohres 42′ aus ihrer die Abstandshalter festlegenden Position zu verhindern.

Für einige Anwendungen mag es erwünscht sein, in einer Brennstoffkassette mehr als ein Wasserrohr zu benutzen. Hinsichtlich eines solchen Falles siehe die US-PS 3 802 995.

Ein weiteres Wasserrohr ist in der Figur 4A als Wasserrohr 53 gezeigt. An seinem oberen Ende kann das Wasserrohr 53 mit einem Endstopfen ausgebildet sein, der einen verlängerten Schaft aufweist, der mit einer Ausdehnungsfeder versehen ist, ähnlich dem Schaft 33(d) und der modifizierten Ausdehnungsfeder 37′ des Wasserrohres 42′ oder der obere Endstopfen des Wasserrohres 53 kann mit einem Schaft ausgebildet sein, der einen vergrösserten unteren Abschnitt aufweist, wie in Figur 4B gezeigt.

Der verlängerte Schaft 28(e) des unteren Endstopfens des Wasserrohres 53 kann entweder einen kreisförmigen Querschnitt haben, da dieses zusätzliche Wasserrohr üblicherweise nicht die Funktion hat, die Abstandshalter 24 an Ort und Stelle zu halten und deshalb nicht gegen Rotation geschützt sein braucht. Da ein kreisförmiger Querschnitt des Schaftes 28(e) des unteren Endstopfens keiner merklichen strömungsinduzierten Vibration ausgesetzt ist, ist ein schützender Ansatz nicht erforderlich, kann jedoch vorgesehen sein, um jegliches Risiko einer solchen Vibration zu beseitigen. Vorzugsweise ist der untere Endstopfen des Wasserrohres 53 jedoch mit einem konischen unteren Ende ausgebildet und das Stützgitter 31′ ist mit einem passenden konischen Sitz versehen, ähnlich dem konischen Abschnitt 44 und dem passenden Sitz 46 für das Wasserrohr 42′.

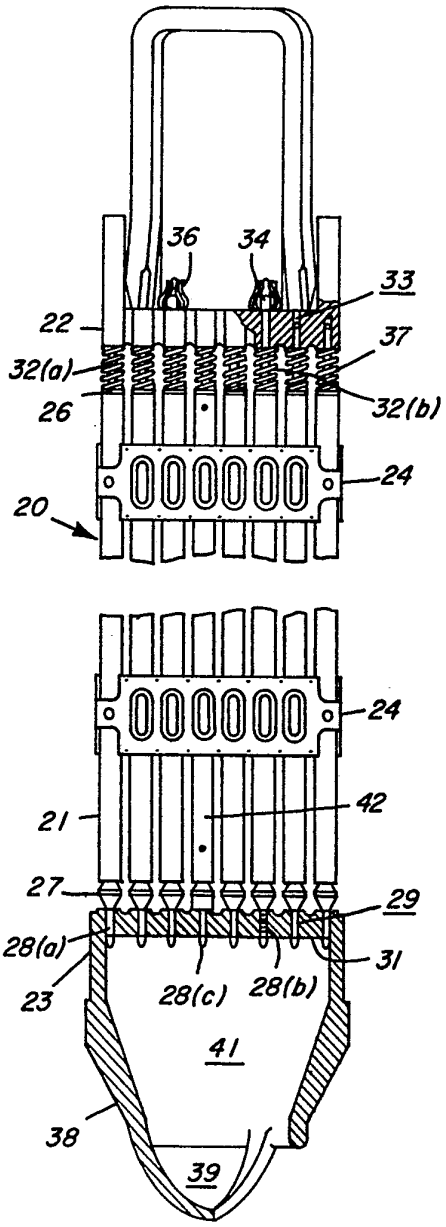

36
34
33
22
37
32(a)
26
32(b)
24
20
24
21
42
27
29
28(a)
23
28(c)
28(b)
31
41
38
39

Fig. 1

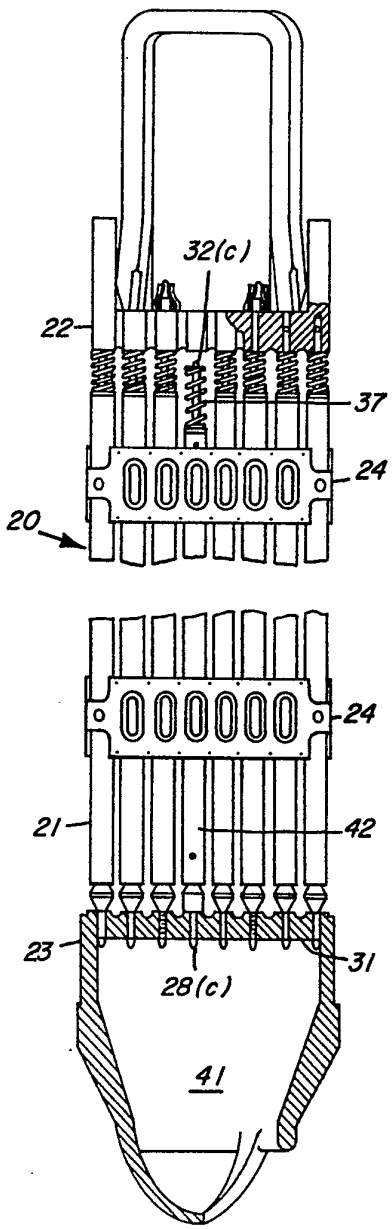

32(c)
22
37
24
20
24
21
42
23
28(c)
31
41

Fig. 2

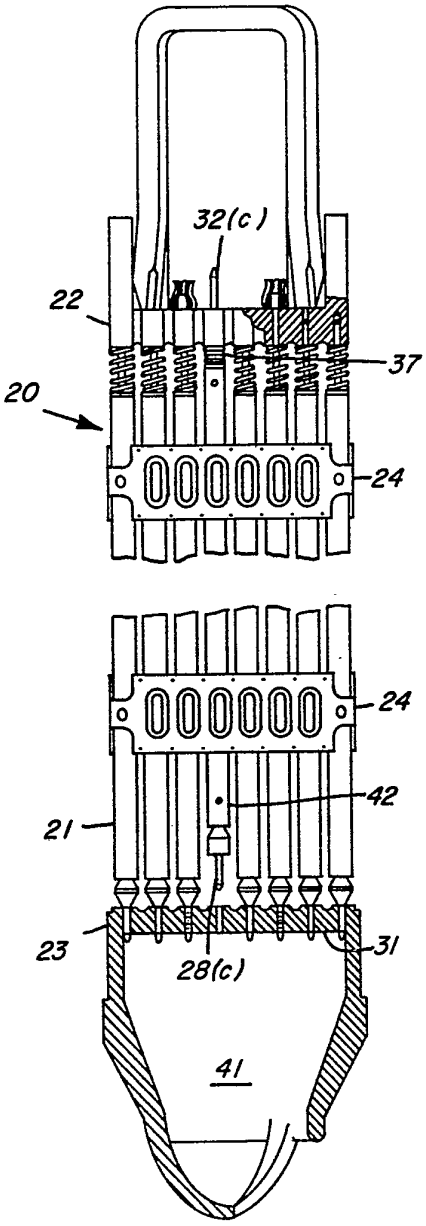

32(c)
22
37
20
24
24
42
21
23
31
28(c)
41

Fig. 3

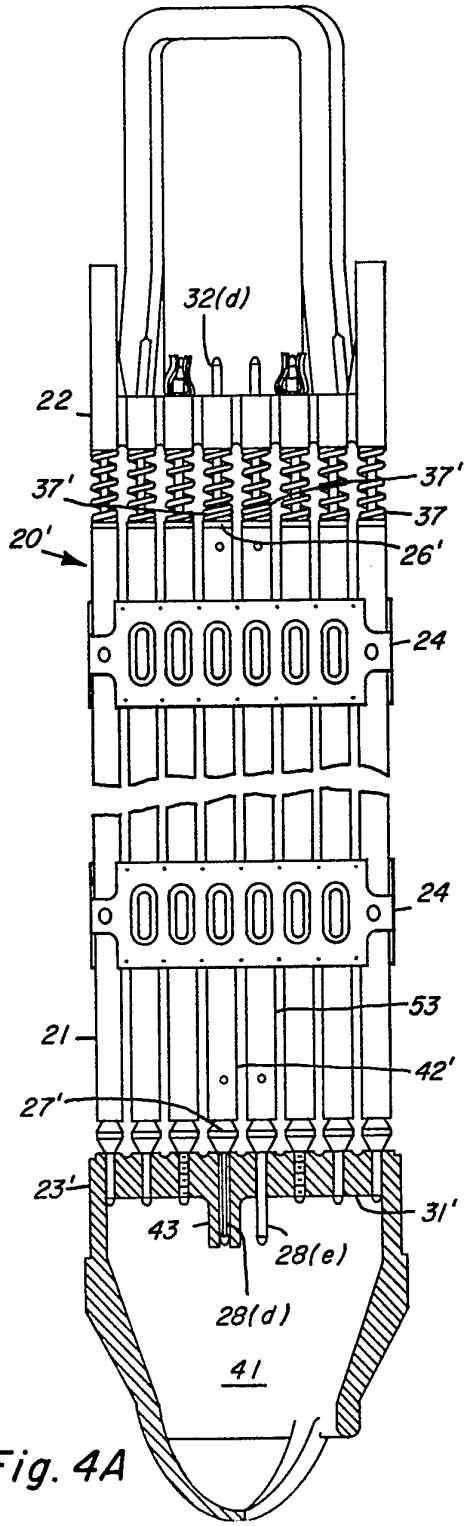

32(d)
22
37'
37
20'
26'
24
24
53
21
42'
27'
23'
31'
43
28(e)
28(d)
41

Fig. 4A

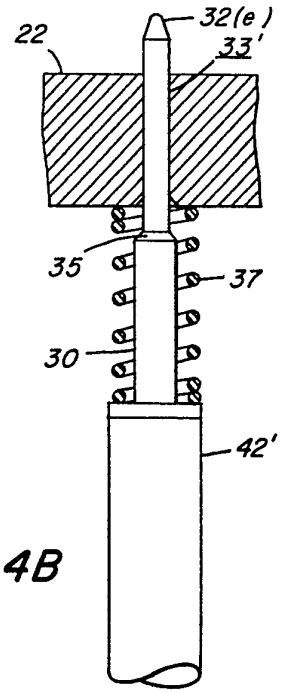


Fig. 4B

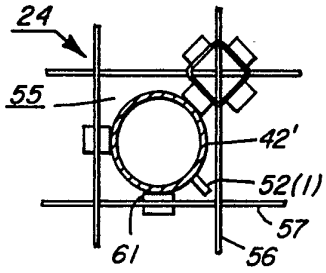


Fig. 6A

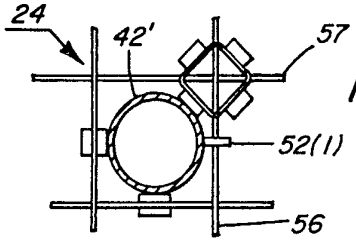


Fig. 6B

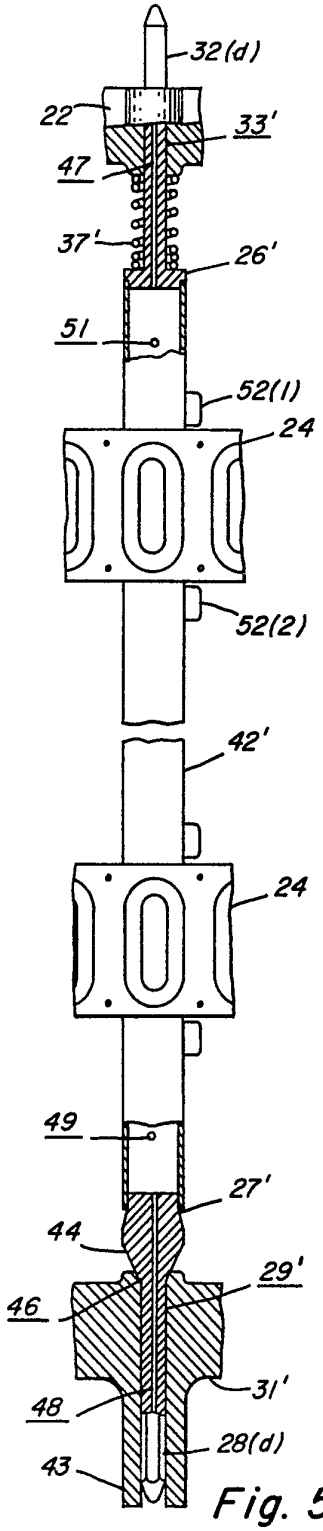


Fig. 5