

⑤

Int. Cl. 2:

G 21 C 21-02

⑩ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



DT 24 47 745 A1

⑪

Offenlegungsschrift 24 47 745

⑫

Aktenzeichen: P 24 47 745.0

⑬

Anmeldetag: 7. 10. 74

⑭

Offenlegungstag: 17. 4. 75

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒

10. 10. 73 USA 404988

⑤④

Bezeichnung: Verfahren und Einrichtung zur Herstellung eines nuklearen Brennelementstabes

⑦①

Anmelder: General Atomic Co., San Diego, Calif. (V.St.A.)

⑦④

Vertreter: Weickmann, F., Dipl.-Ing.; Weickmann, H., Dipl.-Ing.;
Fincke, K., Dipl.-Phys. Dr.; Weickmann, F.A., Dipl.-Ing.;
Huber, B., Dipl.-Chem.; Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦②

Erfinder: Ballard, Albert Stevens, San Diego;
Cooper, Roy George, Rancho Santa Fe; Davis, Dwight Evan, Escondido;
Calif. (V.St.A.)

PATENTANWÄLTE

DIPL.-ING. F. WEICKMANN,

2447745

DIPL.-ING. H. WEICKMANN, DIPL.-PHYS. DR. K. FINCKE

DIPL.-ING. F. A. WEICKMANN, DIPL.-CHEM. B. HUBER

8 MÜNCHEN 86, DEN

POSTFACH 860820

MÜHLSTRASSE 22, RUFNUMMER 983921/22

GENERAL ATOMIC COMPANY

10955 John Jay Hopkins Road

San Diego, California / USA

Verfahren und Einrichtung zur Herstellung eines nuklearen Brennelementstabes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Herstellung eines nuklearen Brennelementstabes. Ein derartiger Stab wird aus einer Vielzahl von Brennstoffteilchen hergestellt, die in einem festen Bindemittel suspendiert sind.

Kernreaktoren sind oft derart aufgebaut, daß ein spaltbares Material oder ein Kernbrennstoff stabförmig ausgebildet oder in entsprechenden Formen angeordnet ist und innerhalb des Reaktorkerns in einer vorgegebenen Anordnung gehalten wird. Eine als nützlich erwiesene Stabausführung besteht aus einem teilchenförmigen Brennstoff, der in einem verfestigten Bindemittel suspendiert ist, welches in Stabform gegossen ist.

Eine Möglichkeit zur Herstellung von nuklearen Brennelementstäben dieser Art besteht darin, eine Form vorzusehen, in die Brennstoffteilchen eingegeben und ein im plastizierten Zustand befindliches Bindemittel in flüssiger Form eingespritzt wird, welches sich dann innerhalb des Formhohlraums

509816/0302

- d.

verfestigt. Mit diesem Verfahren sind jedoch beachtliche Probleme verbunden.

Eines dieser Probleme besteht darin, daß im Hinblick auf Wirkungsgrad und zu verwendende Stoffe sowie auf Forderungen des Reaktoraufbaus die Brennstoffteilchen innerhalb des Brennstoffstabes dicht verteilt sein müssen. Hierzu werden ein oder mehrere Formhohlräume bis an ihr oberes Ende mit Nuklearteilchen gefüllt, bevor das Bindemittel eingespritzt wird. Eine Vibration und eine Stoßeinwirkung kann jedoch die Teilchen aus der Form austreten lassen, wodurch möglicherweise ein Gefahrenzustand entsteht. Es müssen dann kostspielige Verfahren durchgeführt werden, um diese ausgetretenen Teilchen wieder zu sammeln.

Ein weiteres Problem der bisherigen Brennstoffstäbe besteht darin, daß durch den Druck während des Einspritzens ein teilweises Niederschlagen oder Absetzen des Brennstoffpakets eintreten kann. Hierdurch kann ein Bereich entstehen, in dem keine Brennstoffteilchen vorhanden sind.

Schließlich besteht ein Problem darin, daß die Formen unzureichend gefüllt werden können, wodurch Leerstellen oder unerwünschte kappenförmige Ansammlungen von Bindemittel entstehen.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein verbessertes Verfahren sowie eine Einrichtung zur Herstellung eines nuklearen Brennelementstabes anzugeben, bei dem eine Vielzahl Teilchen in einem Bindemittel gehalten sind und die Probleme des Austretens, des Absetzens und der Leerstellen vermieden werden.

Ein Verfahren zur Herstellung eines nuklearen Brennelementstabes ist zur Lösung dieser Aufgabe erfindungsgemäß derart

- 3.

ausgebildet, daß eine Hohlform teilweise mit Nuklear-
Brennstoffteilchen gefüllt, geschlossen und einer Volumen-
verringerung bis zur praktisch vollständigen Füllung unter-
zogen wird und daß ein flüssiges, verfestigungsfähiges Binde-
mittel zur Füllung der zwischen den Teilchen vorhandenen
Hohlräume in die Hohlform eingespritzt wird.

Eine Einrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens ist
erfindungsgemäß gekennzeichnet durch eine mit einer Ver-
schlußvorrichtung versehene Hohlform, durch eine Vorrich-
tung zur Änderung des Volumens der Hohlform und durch eine
Vorrichtung zum Einspritzen eines Bindemittels in die Hohl-
form.

Falls erforderlich, kann durch die Volumenveränderung des
Formhohlraums eine infolge des Einspritzdrucks erzeugte
Konzentration der Teilchenpackung kompensiert werden, dies
gilt natürlich auch für die Ausbildung von Leerstellen und
kappenförmigen Bindemittelansammlungen. Ein Kolben oder ein
einstellbarer Schiebermechanismus können zum Ausstoßen des
fertigen Brennstoffstabes aus der Form nach der Verfestigung
des Bindemittels vorgesehen sein.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden an-
hand der Figuren beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 den Schnitt einer Einrichtung zur Durchführung des
Verfahrens nach der Erfindung mit Darstellung eines
Anfangsschritts des Verfahrens,
- Fig. 2 den Schnitt der in Fig. 1 gezeigten Einrichtung in
einem weiteren Verfahrensschritt,
- Fig. 3, 4 und 5 Schnitte der Einrichtung nach der Erfindung
für weitere Verfahrensschritte,

- 4 -

Fig. 6 einen vergrößerten Schnitt eines Teils der in Fig. 1 bis 5 gezeigten Einrichtung und Fig. 7 einen vergrößerten Schnitt ähnlich Fig. 6 für eine andere Ausführungsform der Einrichtung.

In Fig. 1 ist eine Form dargestellt, die einen Formhohlraum bildet und ein Formgehäuse 11 hat, in dem zylindrische Öffnungen gebildet sind, die zylindrische Formhohlräume 12 erzeugen. Die Hohlräume können maschinell bearbeitet sein, um an ihrer Innenseite eine glatte Oberfläche zu erzielen. Das Innere des Gehäuses ist ferner mit Kanälen 13 und 14 versehen, durch die hindurch eine Heizflüssigkeit oder ein Kühlmittel geleitet wird, um die Form je nach Erfordernis während des Formvorgangs aufzuheizen oder zu kühlen. Die Hohlräume 12 sind untereinander gleichartig ausgeführt.

Eine horizontale Öffnung 16 verläuft durch das Gehäuse 11 und schneidet alle Hohlräume 12 nahe ihrem unteren Ende. Diese Öffnung 16 endet an der Außenseite des Gehäuses 11 an einem vorstehenden Ansatz 18, in dem eine Sockelöffnung 21 zu einem noch zu beschreibenden Zweck vorgesehen ist.

Die unteren Enden eines jeden Hohlraums 12 sind durch einen Kolben 23 verschlossen. Der Kolben 23 ist am oberen Ende einer Kolbenstange 25 gehalten, die durch eine Öffnung 27 in einer unteren Abschlußplatte 29 hindurchgeführt ist. Die Abschlußplatte 29 ist an der Unterseite des Gehäuses 11 in nicht dargestellter Weise befestigt. Wie noch erläutert wird, ermöglicht der Kolben 23 eine Einstellung des Volumens des Formhohlraums 12 so, wie sie durch das erfindungsgemäße Verfahren vorgesehen ist.

In Fig. 6 ist die Konstruktion des Kolbens 23 dargestellt. Das obere Ende der Kolbenstange ist mit einer zentralen

achsialen Bohrung 31 versehen. Das untere Ende des Kolbens ist mit einem zylindrischen Vorsprung 33 versehen, der nach unten in die Bohrung 31 hineinragt und dort durch einen Querstift 35 gehalten wird, der durch aufeinander ausgerichtete Öffnungen im oberen Ende der Kolbenstange 25 und durch den zylindrischen Vorsprung 33 geführt ist. Eine Kante 37 ist am Kolben 23 vorgesehen. Diese erzeugt einen dichten Gleitsitz an der Innenwand des Hohlraums 12. Eine zweite Kante 39 ist am Kolben 23 oberhalb der ersten Kante 37 vorgesehen. Diese Kante 39 erzeugt gleichfalls einen dichten Gleitsitz an dem Formhohlraum 12. Sie begünstigt die Anordnung des Kolbens innerhalb des Hohlraums 12. Ein Dichtungsring 41 ist zwischen den beiden Kanten 37 und 39 vorgesehen und gewährleistet eine Abdichtung zwischen dem Kolben und der Innenwand des Hohlraums 12.

Der Kolben 23 hat ferner an seinem obersten Ende eine weitere Kante 43. Der Abstand zwischen dem Umfang dieser Kante 43 und der Innenfläche des Hohlraums 12 ist größer als derjenige der Kanten 37 und 39. Der Kolben 23 ist zwischen der Kante 43 und der Kante 39 mit einer Verengung im Bereich 45 versehen, wodurch ein ringförmiger Raum 47 zwischen dem Kolben und dem Formhohlraum 12 entsteht.

Beim Betrieb dieser Einrichtung wird der Kolben 23 innerhalb des Hohlraums 12 in die in Fig. 1 gezeigte unterste Stellung gebracht. Die Brennstoffteilchen 51 werden dann aus einem Trichter 53 in den Hohlraum so eingegeben, daß sie ihn nur teilweise füllen. Wie aus Fig. 2 hervorgeht, bleibt nach dem Füllvorgang ein Volumen 54 im oberen Teil des Formhohlraums 12, welches nicht gefüllt ist. Der Abstand zwischen der Kante 43 und der Innenwandung des Hohlraums 12 reicht nicht aus, um Brennstoffteilchen in den ringförmigen Raum 47 eintreten zu lassen.

- 6 -

Nachdem alle Formhohlräume 12 teilweise gefüllt sind, wird eine Abdeckplatte 55 an der Oberseite des Gehäuses 11 in nicht dargestellter Weise befestigt (Fig. 3). Die Kolben 23 werden dann durch Bewegung der Kolbenstangen 25 in Aufwärtsrichtung geschoben, um das Volumen der Formhohlräume zu verringern und die Teilchen 51 den Abstand zwischen dem Kolben 23 und der Abdeckplatte 55 vollständig ausfüllen zu lassen. Vorzugsweise wird der Kolben 23 mit ausreichender Kraft nach oben geschoben, um die Teilchenpackung in sich selbst zu festigen. Dies ist in Fig. 3 dargestellt. Es sei bemerkt, daß die Abdeckplatte 55 mit mehreren Bohrungen 57 versehen ist, die nicht auf die Formhohlräume 12 ausgerichtet sind, jedoch mit einer großen, kreisförmigen Aussparung 59 an der Unterseite der Abdeckplatte in Verbindung stehen, die in den Bereichen zwischen den Formhohlräumen angeordnet ist. Der Zweck dieser Aussparung wird im folgenden noch erläutert.

In Fig. 4 ist dargestellt, wie ein flüssiges und verfestigungsfähiges Bindemittel in die Formhohlräume eingespritzt wird. Das Bindemittel wird mit einer Einspritzvorrichtung 61 zugeführt, die eine Düse 63 hat, welche in die Sockelaussparung 21 des Ansatzes 18 am Gehäuse 11 eingesetzt werden kann. Gleichzeitig wird die Form mittels einer Heizflüssigkeit aufgeheizt. Während das plastifizierte Bindemittel eingespritzt wird, erfolgt eine Füllung des ringförmigen Raums 47 um jeden Kolben 23 herum mit der Flüssigkeit. Jeder ringförmige Raum an jedem Kolben dient als Übergangsleitung, die den nächstfolgenden, benachbarten ringförmigen Raum über den Kanal 16 speist. Der ringförmige Raum 47 hat eine derartige achsiale Länge, daß er während des Betriebes der Einrichtung mit den Öffnungen 16 in Verbindung steht. Der Abstand zwischen der obersten Kante 43 eines jeden Kolbens 23 und der Wandung des Formhohlraums 12 wirkt als eine

- 7 -

Sperre, und nachdem der jeweilige ringförmige Raum 47 gefüllt ist, tritt das flüssige Material in den Formhohlraum ein, wo die Teilchenpackung suspendiert ist.

Wenn das Bindemittel in die Teilchenpackung eintritt, so ermöglicht seine Schmierfähigkeit, daß sich die Teilchen im Sinne einer weiteren Vergleichmäßigung ihrer Packung verlagern. Dieser Vorgang wird durch den Kolben begleitet, der durch seine aufwärts gerichtete Antriebskraft eine konstante Druckwirkung auf die Teilchenpackung ausübt, so daß diese weiter verfestigt wird. Der Kolben bewegt sich dabei entsprechend den geringfügigen Verschiebungen der Teilchenpackung infolge der Teilchenverlagerung oder unterschiedlicher thermischer Ausdehnung. Somit wandert die zwischen der Kante 43 und der Innenwandung des Formhohlraums 12 gebildete Sperre gleichfalls mit einer Bewegung der Teilchenpackung. Die Auswirkung dieses Vorgangs besteht darin, daß während des Formvorgangs eine bewegliche Sperre vorhanden ist, obwohl die Zuführungsöffnungen 16 stationär bleiben. Dies ist auf die achsiale Kompensation zurückzuführen, die durch die ringförmigen Räume 47 im Zusammenhang mit den Öffnungen 16 ermöglicht wird.

Bei Beginn des Einspritzvorganges des flüssigen Bindemittels wird Luft aus dem jeweiligen Hohlraum über eine Entlüftungsöffnung 64 abgeführt, die als flache Nut an der Oberseite des Formhohlraums vorgesehen ist. Die Aussparung 59 an der Unterseite der Abdeckplatte 55 und die Bohrung 57 stehen mit dieser Nut in Verbindung. Typischerweise werden für jeweils zwei Formhohlräume eine Aussparung 59 sowie eine Bohrung 57 vorgesehen. Die Luft wird aus dem jeweiligen Hohlraum während des Einspritzvorganges über die Entlüftungsöffnung 64, die Aussparung 59 und die Bohrung 57 zur Atmosphäre abgeleitet. Nachdem der Hohlraum gefüllt ist, tritt überschüssiges Bindemittel in die Aussparung 59 durch die Entlüftungsöffnung 64 hindurch ein und bewegt sich aufwärts in die Bohrung 57, wie

-8-

es in Fig. 4 dargestellt ist. Dadurch steigt der Gegendruck innerhalb des Formhohlraums, wodurch wiederum die in ihn hinein erfolgende Strömung geschwächt wird. Auf diese Weise dienen die Entlüftungsöffnungen 64 als Steuerelemente, die eine vollständige Füllung aller Formhohlräume gewährleisten.

Beim Abschluß des Formverfahrens sowie der Kühlung und der damit erfolgenden Verfestigung des Bindemittels wird die Abdeckplatte 55 angehoben, und die Kolbenstangen 25 werden innerhalb der Hohlräume aufwärts bewegt, so daß die Brennstoffstäbe ausgestoßen werden, wie es in Fig. 5 bei 67 dargestellt ist. Gleichzeitig wird überschüssiges Bindemittel, welches in die Aussparung 59 und die Bohrung 57 eingetreten war, ausgestoßen, indem die Abdeckplatte 55 so weit nach oben bewegt wird, daß ein Ausstoßstift 69 am Maschinenrahmen 71 auf sie einwirkt. Das verfestigte überschüssige Bindemittel 73 kann dann gesammelt werden.

Als Bindemittel kann beispielsweise ein plastifiziertes Bindemittel verwendet werden, welches aus einem feinen Graphitmehl besteht, welches in Pech suspendiert ist. Dieses Material hat eine ausreichende Fließfähigkeit für Formzwecke, wenn der Formhohlraum auf eine Temperatur von 150 bis 175^o C erhitzt ist.

In Fig. 7 ist eine weitere mögliche Konstruktion des Kolbens dargestellt. Der Kolben 123 ist mit zwei unteren Kanten 137 und 139 versehen, die in achsialer Richtung einen Abstand zueinander haben, ferner ist er an einer Kolbenstange 125 befestigt. Ein Dichtungsring 141 ist zwischen den Kanten angeordnet, und eine obere Kante 143 ist am oberen Ende des Kolbens vorgesehen. Diese Kante ist größer als die obere Kante 43 nach Fig. 6, so daß sie nahe an der Innenwand des Formhohlraums (nicht dargestellt) angeordnet ist. Wie bei

dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel hat der Kolben 123 eine Verengung 145, die auf die Öffnungen 16 der Formeinrichtung ausgerichtet werden kann. Eine Querbohrung 171 durch den Kolben 123 in der Verengung 145 bildet einen Kanal, der mit dem zwischen dem Kolben und dem Formhohlraum im Bereich 145 gebildeten ringförmigen Raum in Verbindung steht. Eine achsiale Bohrung 173 verläuft von der Bohrung 171 bis zur Oberseite des Kolbens und wirkt als Sperre, die das Eintreten von Flüssigkeit in den Formhohlraum vom ringförmigen Bereich 145 aus ermöglicht. Somit wird das Bindemittel in achsialer Richtung und nicht innerhalb des Ringraums um die Kante 41 gesperrt.

Es ist zu erkennen, daß die Erfindung ein verbessertes Verfahren sowie eine Einrichtung zur Herstellung von Brennelementstäben ermöglicht, bei denen Brennstoffteilchen innerhalb eines festen Bindemittels suspendiert sind. Ein Austritt von Brennstoffteilchen aus den Formhohlräumen nach deren Füllung durch Vibration und Stoßeinwirkung wird dadurch praktisch vollständig vermieden, daß die Formhohlräume nur teilweise gefüllt sind. Die Möglichkeit einer Einstellung des Volumens der Formhohlräume vermeidet die Ausbildung von Leerräumen, die anderenfalls durch das Erfordernis einer negativen Fülltoleranz entstehen könnten und unter gewissen Umständen durch Teilchenschrumpfung erzeugt werden. Dies ist auf eine Form mit variablen Abmessungen zurückzuführen, die einen zusätzlichen Raum zur Aufnahme der vollständigen Teilchenfüllung schafft und eine Einstellung des Formvolumens während des Einspritzens des Bindemittels ermöglicht. Leerstellen, die bei zusätzlicher Kompaktierung der Teilchen infolge des Einspritzdrucks entstehen könnten, werden durch die Erfindung vermieden.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Herstellung eines nuklearen Brennelementstabes, dadurch gekennzeichnet, daß eine Hohlform teilweise mit Nuklearbrennstoffteilchen gefüllt, geschlossen und einer Volumenverringerung bis zur praktisch vollständigen Füllung unterzogen wird und daß ein flüssiges, verfestigungs-fähiges Bindemittel zur Füllung der zwischen den Teilchen vorhandenen Hohlräume in die Hohlform eingespritzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Form aufgeheizt und das Volumen so eingestellt wird, daß eine thermische Ausdehnung der Form sowie ihres Inhalts kompensiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Volumen während des Einspritzens des Bindemittels eingestellt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Volumen durch einen Kolben eingestellt wird, der auch zum Ausstoßen des Brennstoffstabes nach Verfestigung des Bindemittels verwendet wird.
5. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch eine mit einer Verschlußvorrichtung (55) versehene Hohlform (11, 12), durch eine Vorrichtung (23, 25) zur Veränderung des Volumens der Hohlform (11, 12) und durch eine Vorrichtung (61) zum Einspritzen eines Bindemittels in die Hohlform (11, 12).

6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Heizvorrichtung (13) für die Hohlform (11, 12) vorgesehen ist.
7. Einrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (23, 25) zur Änderung des Volumens der Hohlform (11, 12) einen in dem jeweiligen Formhohlraum (12) verschiebbaren Kolben (23) umfasst.
8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Kolben (23) innerhalb eines Bereichs verschiebbar ist, der ein Ausstoßen des fertigen Brennstoffstabes (67) aus dem Formhohlraum (12) ermöglicht.
9. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Kolben (23) abdichtend an der Innenwandung des Formhohlraums (12) angeordnet ist und einen verengten Bereich aufweist, durch den ein ringförmiger Raum (47) gebildet ist, welcher als eine Sperre für das in den Formhohlraum (12) eingespritzte Bindemittel dient.
10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Kolben (23) einen Kanal (171) aufweist, der auf die Einspritzvorrichtung (61) ausrichtbar ist, und daß ein weiterer Kanal (173) vorgesehen ist, der den erstgenannten Kanal (171) mit dem Formhohlraum (12) verbindet.
11. Brennelementstab, hergestellt nach dem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4.

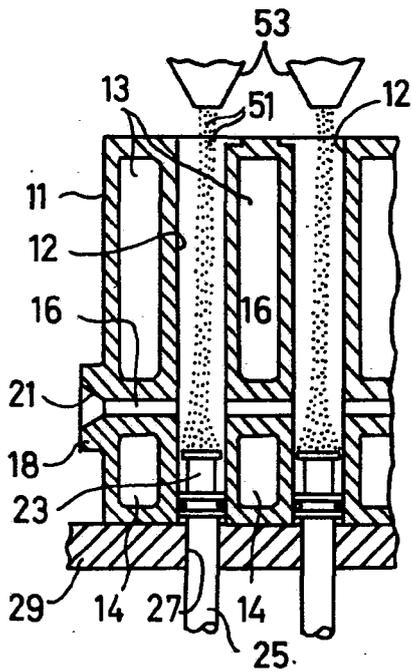


FIG. 1

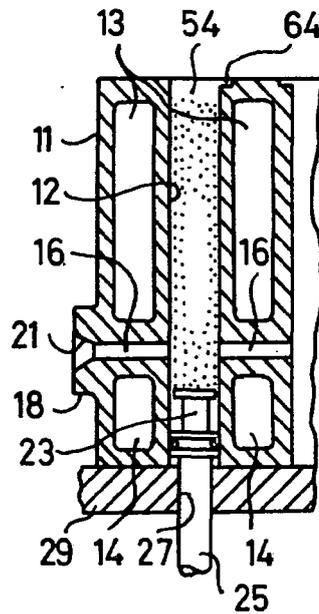


FIG. 2

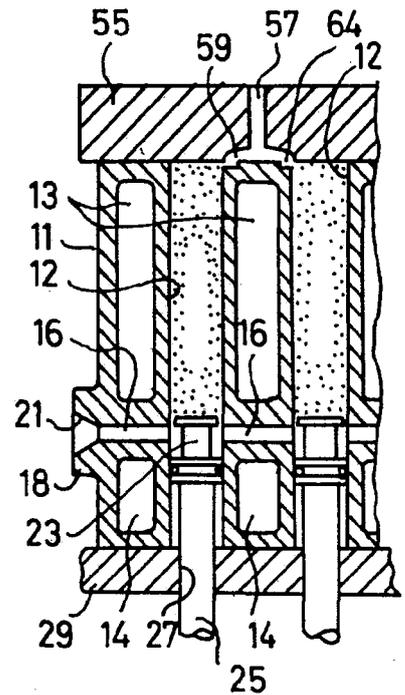


FIG. 3

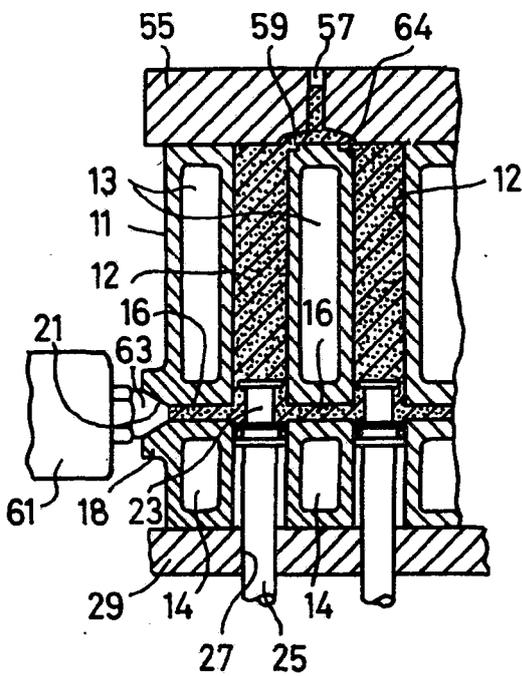


FIG. 4

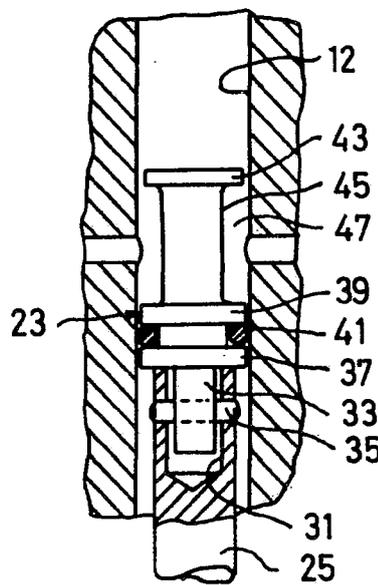


FIG. 6

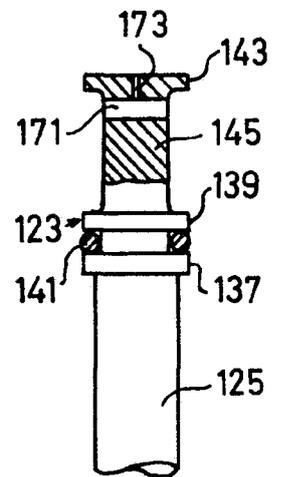


FIG. 7

509816/0302

- 10a -

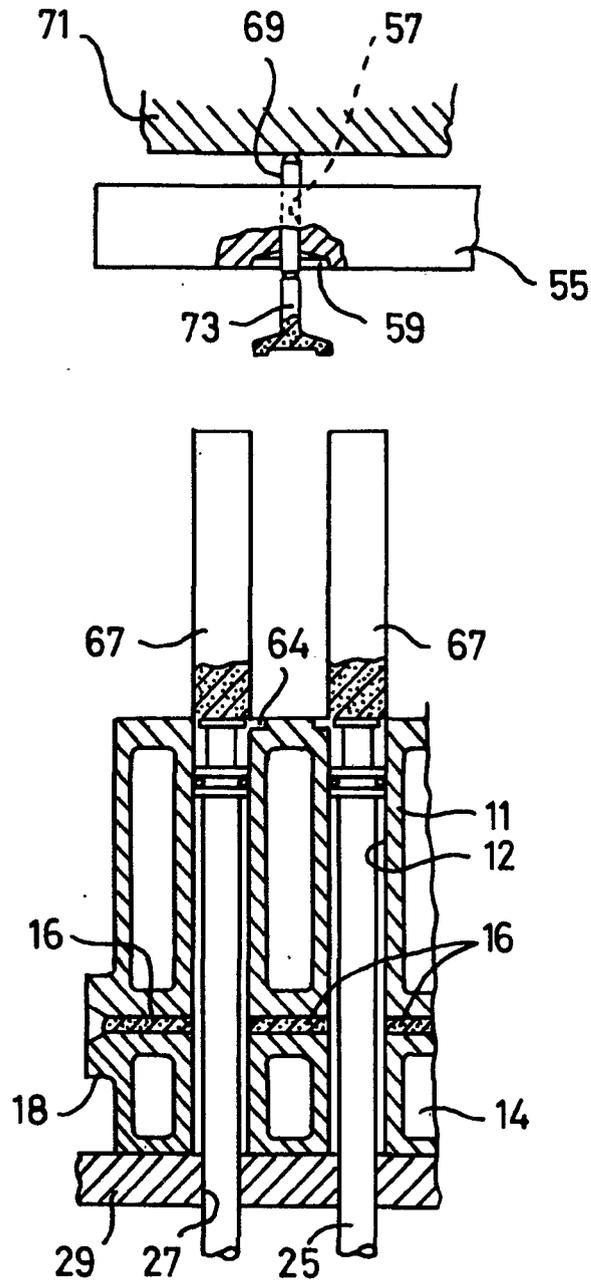


FIG. 5