

⑤

Int. Cl. 2:

**G 21 C 21/02**

⑱ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**



**DT 26 25 602 A 1**

⑪

# **Offenlegungsschrift 26 25 602**

⑳

Aktenzeichen: P 26 25 602.0

㉑

Anmeldetag: 8. 6. 76

㉒

Offenlegungstag: 30. 12. 76

⑳

Unionspriorität:

㉓ ㉔ ㉕ 10. 6. 75 USA 585689

⑤

Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung eines nuklearen Brennelementstabes

⑥

Zusatz zu: P 24 47 745.0

⑦

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

⑧

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

⑨

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

**DT 26 25 602 A 1**

PATENTANWÄLTE     DIPL.-ING. F. WEICKMANN,  
                               DIPL.-ING. H. WEICKMANN, DIPL.-PHYS. DR. K. FINCKE  
                               DIPL.-ING. F. A. WEICKMANN, DIPL.-CHEM. B. HUBER

---

SBH  
General Atomic Company  
10955 John Jay Hopkins Drive  
San Diego, Californien  
USA

---

8 MÜNCHEN 86, DEN  
POSTFACH 860 820  
MÜHLSTRASSE 22, RUFNUMMER 98 39 21/22

### Verfahren zur Herstellung eines nuklearen Brennelementstabes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines nuklearen Brennelementstabes, bei dem eine Hohlform teilweise mit Nuklearbrennstoffteilchen gefüllt, geschlossen und einer Volumenverringering bis zur praktisch vollständigen Füllung unterzogen wird und ein flüssiges, verfestigungsfähiges Bindemittel zur Füllung der zwischen den Nuklearbrennstoffteilchen vorhandenen Hohlräume in die Hohlform eingespritzt wird. Ein derartiges Verfahren ist Gegenstand des Hauptpatents ..... (Patentanmeldung P 24 47 745.0).

Vorzugsweise wird bei diesem Verfahren eine ausreichende Menge Bindemittel in die Form eingeführt, so daß das Bindemittel aus einer Entlüftungsöffnung an dem Ende des Formhohlraums austreten kann, das dem Einführungs-ende für das Bindemittel gegenüberliegt, so daß der Formhohlraum vollständig gefüllt wird. Verglichen mit anderen Verfahren zur Herstellung von Kernbrennstoffelementen ermöglicht dieses Verfahren eine Verringerung unerwünschten

Verspritzens von Kernbrennstoffteilchen und der Kosten, die durch das Sammeln solcher Teilchen entstehen.

Es ist Aufgabe der Erfindung, das Verfahren so weiter zu verbessern, daß der Verlust an Kernbrennstoffteilchen weiter verringert wird.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist das Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß derart ausgebildet, daß so viel Bindemittel in die Hohlform eingespritzt wird, daß es an dem der Einfüllstelle gegenüberliegenden Ende der Hohlform aus einer Entleerungsöffnung austritt, die so bemessen ist, daß sie den Durchgang von Nuklearbrennstoffteilchen verhindert.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Figuren beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 den Querschnitt einer Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei ein erster Verfahrensschritt dargestellt ist,
- Fig. 2 die Einrichtung nach Fig. 1 für einen zweiten Verfahrensschritt,
- Fig. 3, 4 und 5 die Einrichtung nach Fig. 1 und 2 für weitere Verfahrensschritte und
- Fig. 6 einen vergrößerten Querschnitt eines Teils der in Fig. 1 bis 5 gezeigten Einrichtung.

In Fig. 1 ist ein Formgehäuse 11 dargestellt, das mehrere Formhohlräume 12 in Form zylindrischer Kammern mit kreisförmigem Querschnitt aufweist. Die Formhohlräume 12 können maschinell bearbeitet sein, um an ihrer Innenseite eine glatte Oberfläche zu erzielen. Das Gehäuse 11 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 Formhohlräume 12 sind untereinander gleichartig ausgeführt.

Eine horizontale Bohrung 16 ist im Gehäuse 11 an einer Stelle vorgesehen, wo sie alle Formhohlräume 12 an deren unteren Enden schneidet. Die Bohrung 16 endet an der Außenseite des Gehäuses 11 an einem vorstehenden Ansatz 18, in dem ein Sockel 21 für einen noch zu beschreibenden Zweck vorgesehen ist.

Die unteren Enden aller Formhohlräume 12 sind durch einen Kolben 23 geschlossen, der am oberen Ende einer Kolbenstange 25 gehalten ist, welche 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. Durch die Kolben 23 kann das innere Volumen eines jeden Formhohlraums 12 je nach Erfordernis eingestellt werden.

In Fig. 6 ist die Konstruktion des Kolbens 23 und des oberen Endes der Kolbenstange 25 dargestellt, die eine axiale Bohrung 31 hat. Das untere Ende des Kolbens hat einen zylindrischen Vorsprung 33, der nach unten in die axiale Bohrung 31 hineinragt und darin mittels eines Querstiftes 35 gehalten ist, der in aufeinander ausgerichteten Öffnungen des oberen Endes der Kolbenstange 25 und in dem zylindrischen Vorsprung 33 sitzt. Eine Kante 37 ist am Kolben 23 vorgesehen und bildet einen engen Gleitsitz an der Innenwandung des Formhohlraums 12. Eine zweite Kante 39 ist mit Abstand über der ersten Kante 37 vorgesehen und bildet gleichfalls einen Gleitsitz an der Wandung des Formhohlraums 12. Die Kanten 37 und 39 gewährleisten, daß der Kolben innerhalb des zylindrischen Formhohlraums glatt abwärts und aufwärts bewegt werden kann. Ein O-Ring

41 ist zwischen den Kanten 37 und 39 angeordnet und bildet eine Flüssigkeitsdichtung zwischen dem Kolben und der Wandung des Formhohlraums 12.

Der Kolben 23 ist an seinem oberen Ende mit einem Kopf 43 versehen, der so bemessen ist, daß ein gewisser Abstand zwischen seinem Umfang und der Innenwand des Formhohlraums 12 herrscht. Im Bereich des Kopfes 43 und der Kante 39 ist der Kolben 23 mit einem verringerten Durchmesser versehen, wodurch ein Schaft 45 gebildet ist, der einen ringförmigen Zwischenraum 47 zwischen sich und der Wand des Formhohlraums 12 bildet.

Vor dem Formen von Brennstoffstäben wird die Form 11 vorbereitet. Eine Einspritzvorrichtung 61 mit einer Düse 63 wird an den Sockel 21 in dem Ansatz 18 des Formgehäuses herangebracht. Gleichzeitig wird eine erhitzte Flüssigkeit durch die Kanäle 13 und 14 der Form geführt, um sie auf eine vorgegebene Temperatur zu bringen. Wenn die geeignete Temperatur erreicht ist, wird ein flüssiges Bindemittel in die horizontale Bohrung 16 eingespritzt, wobei die Kolben in den in Fig. 3 und 4 gezeigten unteren Stellungen sind.

Die dargestellten Brennstoffstäbe sind so ausgebildet, daß sie in einem mit Graphit moderierten Reaktor eingesetzt werden können. Es wird ein Bindemittel verwendet, das nachfolgend mit Kohlenstoff versehen werden kann, um eine Kohlenstoffmatrix zu bilden, in der Nuklearbrennstoffteilchen individuell gehalten werden. Das Bindemittel ist üblicherweise ein Pechmaterial wie z.B. Steinkohlenteerpech und kann zusätzliche Füllstoffe wie z.B. Graphitmehl o.ä. enthalten, wie dies bekannt ist. Allgemein kann als Bindemittel jede Art eines plastischen Materials verwendet werden, das durch Einwirkung von Wärme flüssig wird und durch Abkühlung

ungefähr auf Raumtemperatur verfestigt wird. Da das Formverfahren eine Erwärmung, Abkühlung und Wiedererwärmung des Bindemittels umfaßt, soll dieses thermoplastische Eigenschaften haben, was im Gegensatz zu der Anwendung von Harzen steht, die Querverbindungen aufnehmen oder sich anderweitig bei anfänglicher Einwirkung von Wärme verfestigen können und danach nicht mehr erweichen.

Das in die Hauptbohrung 16 eingespritzte Bindemittel strömt um jeden Schaft 45 der Kolben in jeden ringförmigen Zwischenraum 47 und in die jeweils daran anschließende horizontale Bohrung 16. Das Bindemittel strömt ferner aufwärts durch den Abstandsraum am Kopf 43 eines jeden Kolbens und füllt den Formhohlraum 12. Nachdem alle Formhohlräume mit Bindemittel gefüllt sind, was bedeutet, daß die Zwischenräume 47 an den Kolbenschäften 45 gleichfalls gefüllt sind, wird die Einspitzung von Bindemittel und die Aufheizung der Form 11 unterbrochen. Dann wird Kühlmittel durch die Kanäle 13 und 14 geführt, um eine Verfestigung des Bindemittels in den Formhohlräumen zu bewirken. Danach wird die Abdeckung der Formhohlräume entfernt und die Kolbenstangen 25 werden nach oben geführt, beispielsweise durch Einwirkung von Hydraulikdruck, um die zylindrischen Stücke verfestigten Bindemittels aus den Formhohlräumen 12 auszustoßen. Wegen seines thermoplastischen Charakters kann das Bindemittel, falls erwünscht, wiederverwertet und erneut eingesetzt werden. Nach dem Austoßen werden die Kolbenstangen 23 in ihre unterste Stellung zurückgezogen, die in Fig. 1 dargestellt ist, und die Formung der Brennstoffstäbe kann eingeleitet werden.

Zunächst werden Kernbrennstoffteilchen 51 aus einem Trichter 53 in solcher Menge in die Formhohlräume eingeführt, daß jeder Formhohlraum nur teilweise gefüllt ist. Wie in Fig. 2

zu erkennen ist, verbleibt nach dem Einfüllen der jeweils bemessenen Menge von Brennstoffteilchen vorübergehend ein Raum 54 am oberen Ende eines jeden Formhohlraums. Da die Form mit Bindemittel vorbehandelt wurde, nimmt dieses den Abstandsraum zwischen dem Kolbenkopf 43 und der Innenwand des Formhohlraums 12 sowie auch alle Teile der horizontalen Bohrung 16 ein und hält somit die Brennstoffteilchen in den zylindrischen Hohlräumen.

Nachdem die Formhohlräume ihre bemessene Füllung an Kernbrennstoffteilchen erhalten haben, wird eine Abdeckplatte 55 an der Oberseite des Gehäuses 11 in nicht dargestellter Weise befestigt. Die Kolben 23 werden dann durch Bewegung der Kolbenstangen 25 in Aufwärtsrichtung in eine Zwischenstellung gebracht, indem Hydraulikdruck oder eine ähnliche Kraft auf sie einwirkt, um den überschüssigen Raum 54 in einem jeden Formhohlraum zu beseitigen, so daß die Teilchen 51 den Formhohlraum zwischen dem Kolben 23 und der Abdeckplatte 55 vollständig ausfüllen. Vorzugsweise wird der jeweilige Kolben mit ausreichender Kraft aufwärts bewegt, so daß die Teilchenpackung im Formhohlraum etwas zusammengedrückt wird, wie es in Fig. 3 gezeigt ist. Die Brennstoffteilchen haben jedoch vorzugsweise individuelle, Spaltprodukte festhaltende Beschichtungen, beispielsweise pyrolytische Kohlenstoffbeschichtungen, und diese dürfen nicht zerstört werden. Allgemein werden beschichtete Brennstoffteilchen mit einer Größe zwischen ca. 500 und 1200  $\mu$  verwendet. Üblicherweise wird der Kolben 23 nur soweit bewegt, daß er einen Druck mit nicht mehr als ca. 42 kg/cm<sup>2</sup> auf die Teilchen ausübt. Die Abdeckplatte 55 ist mit mehreren Öffnungen 57 versehen, die nicht auf die Formhohlräume ausgerichtet sind, sondern mit großen, kreisrunden Aussparungen 59 an der Unterseite der Abdeckplatte in Verbindung stehen, welche in den Bereichen angeordnet sind, die zwischen den Formhohlräumen liegen. Die Aufgabe dieser Aussparungen wird noch erläutert.

In Fig. 4 sind die Formhohlräume 12 in dem zur Aufnahme des verfestigungsfähigen Bindemittels geeigneten Zustand dargestellt, und die Form wird erwärmt, indem eine heiße Flüssigkeit hindurchgeführt wird, um das Bindemittel, mit dem die Form vorbereitet wurde, zu erweichen. Ist die Form auf der gewünschten Temperatur, so wird Bindemittel aus der Einspritzvorrichtung 61 durch die Düse 63 eingespritzt und fließt durch die horizontale Bohrung 16, durch den jeweiligen ringförmigen Zwischenraum 47 an jedem Kolbenschaft 45 und nach oben an dem jeweiligen Kolbenkopf 43 vorbei in den Formhohlraum 12. Der ringförmige Zwischenraum 47 an jedem Kolbenschaft steht mit der jeweils nächsten Bohrung 16 in Verbindung und dient somit als eine Speiseverbindung für den nächstfolgenden Formhohlraum 12. Der Abstand zwischen dem Kopf 43 eines jeden Kolbens 23 und der Wandung des Formhohlraums 12 ist so bemessen, daß die Kernbrennstoffteilchen nicht hindurchgelangen können. Er wirkt als Sperre, durch die hindurch nur das Bindemittel in den Formhohlraum eintreten kann, wo die Teilchenpackung angeordnet ist.

Wenn das Bindemittel in die Teilchenpackung eintritt, ermöglicht seine Schmierfähigkeit eine Neuordnung der Lage der Brennstoffteilchen und deren weiteres Setzen. Dieses Setzen tritt gleichzeitig mit schrittweisen Aufwärtsbewegungen des Kolbens auf, die durch die weitere Einwirkung der Hydraulikkraft mit konstantem Druck vorzugsweise von mindestens ca.  $42 \text{ kg/cm}^2$  verursacht wird und die Teilchenpackung kompakt hält. Der Kolben kann ferner frei bewegt werden, um jegliche kleineren Verschiebungen der Teilchenpackung durch unterschiedliche thermische Ausdehnung auszugleichen. Da sich die jeweils zwischen einem Kolbenkopf 43 und der Innenwand des Formhohlraums 12 gebildete Sperre mit jeder Bewegung der Teilchenpackung gleichfalls bewegt, entsteht die Wirkung einer beweglichen Sperre im Formverfahren, trotzdem die horizontale Bohrung 16 stationär angeordnet ist. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die axiale

Länge des ringförmigen Zwischenraums 47 ausreichend ist, um mit den jeweiligen Teilen der horizontalen Bohrung 16 in Verbindung zu bleiben.

Zu Beginn der Einspritzung des flüssigen Bindemittels wird Luft aus dem Formhohlraum über eine Entleerungsöffnung 64 in Form einer flachen Vertiefung an der Oberseite des Formhohlraums ausgestoßen. Die kreisrunde Aussparung 59 an der Unterseite der Abdeckplatte 55 liegt über der Entleerungsöffnung 64, und die Öffnung 57 führt aufwärts aus dieser Aussparung durch die Abdeckplatte hindurch. In einem typischen Beispiel sind eine Aussparung 59 und eine Öffnung 57 jeweils zwei Formhohlräumen 12 zugeordnet, und die Entleerungsöffnung 64 ist z.B. ca. 3,175 mm lang und 0,127 mm tief, um den Eintritt von Kernbrennstoffteilchen zu verhindern. Die Luft wird aus dem Formhohlraum während des Einspritzens von flüssigen Bindemittel durch die Entleerungsöffnung 64, die Aussparung 59 und die Öffnung 57 in die Atmosphäre ausgestoßen. Wenn der Formhohlraum 12 vollständig gefüllt ist, kann überschüssiges Bindemittel in die Aussparung 59 durch die Entleerungsöffnung 64 und aufwärts in die Öffnung 57 eintreten, wie dies in Fig. 4 gezeigt ist. Die Entleerungsöffnung 64 ist jedoch so bemessen, daß die beschichteten Kernbrennstoffteilchen nicht hindurchgelangen können, so daß kein Verlust an Kernbrennstoff aus der eigens bemessenen Füllung auftritt. Wenn das flüssige Material die Entleerungsöffnung 64 erreicht, steigt der Gegendruck in dem Formhohlraum an, wodurch wiederum die Strömung flüssigen Materials in dem jeweiligen Formhohlraum verringert und statt dessen durch die Bohrung 16 geleitet wird. Die Entlüftungs- bzw. Entleerungsöffnungen 64 werden somit auch als Steuerelemente ausgenutzt, die die vollständige Füllung aller Formhohlräume gewährleisten.

Am Ende des Einspritzvorganges wird eine Kühlung und eine damit verbundene Verfestigung des Bindemittels durchgeführt. Die Abdeckplatte 55 wird angehoben, und die Kolbenstangen 25 werden weiter in den Formhohlräumen aufwärts bewegt, um die Brennstoffstäbe auszustoßen, wie es in Fig. 5 bei 67 gezeigt ist. Gleichzeitig wird überschüssiges Bindemittel, das in die Aussparung 59 und die Bohrung 57 ausgetreten war, herausgeführt, indem die Abdeckplatte 55 ausreichend aufwärts bewegt wird, daß ein Ausstoßstab 69 den Maschinenrahmen berühren kann, wie es bei 71 dargestellt ist. Das verfestigte überschüssige Bindemittel steht dann zur Sammlung und möglicherweise zur Wiederverwendung zur Verfügung. Das Bindemittel wird vorzugsweise für Formzwecke dadurch flüssig gemacht, daß es auf eine Temperatur von ca.  $150^{\circ}\text{C}$  bis  $190^{\circ}\text{C}$  erhitzt wird. Bei relativ geringen Scherungsraten von z.B. ca. 20 bis  $40\text{ sec.}^{-1}$  können Bindemittel mit einer Viskosität zwischen ca. 300 und 1000 Poise bei  $175^{\circ}\text{C}$  mit beschichteten Brennstoffteilchen einer minimalen Größe von ca.  $300\mu$  verwendet werden. Sollen jedoch höhere Scherungsraten bei der Einspritzung verwendet werden, so werden zweckmäßig Bindemittel mit geringerer Viskosität von beispielsweise 40 bis 90 Poise verwendet.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Herstellung eines nuklearen Brennelementstabes, bei dem eine Hohlform teilweise mit Nuklearbrennstoffteilchen gefüllt, geschlossen und einer Volumenverringerung bis zur praktisch vollständigen Füllung unterzogen wird und ein flüssiges, verfestigungsfähiges Bindemittel zur Füllung der zwischen den Nuklearbrennstoffteilchen vorhandenen Hohlräume in die Hohlform eingespritzt wird, nach Patent ..... (Patentanmeldung P 24 47 745.0), dadurch gekennzeichnet, daß so viel Bindemittel in die Hohlform eingespritzt wird, daß es an dem der Einfüllstelle gegenüberliegenden Ende der Hohlform aus einer Entleerungsöffnung austritt, die so bemessen ist, daß sie den Durchgang von Nuklearbrennstoffteilchen verhindert.
2. Verfahren nach Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Entleerungsöffnung so bemessen ist, daß sie den Durchgang von Nuklearbrennstoffteilchen mit Spaltprodukte haltenden Beschichtungen und einer Größe von mindestens 300  $\mu$  verhindert.
3. Brennelementstab, hergestellt nach dem Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2.

*AA*  
Leerseite

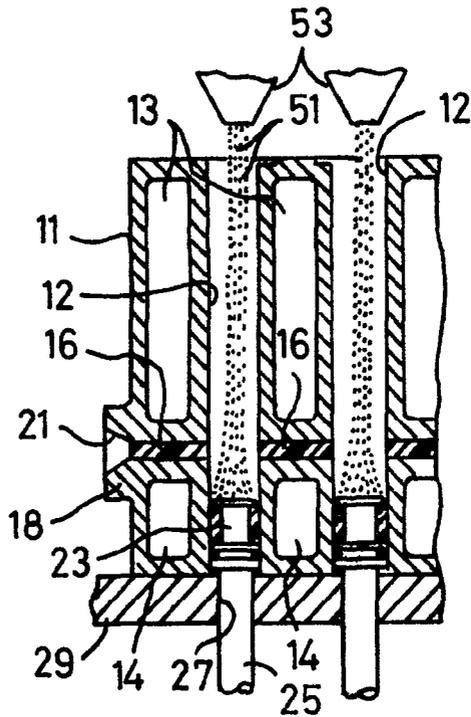


FIG. 1

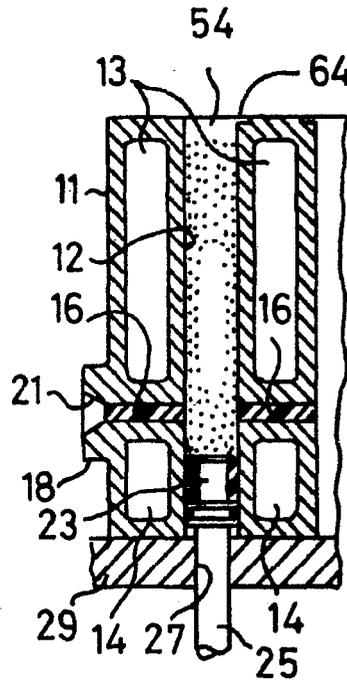


FIG. 2

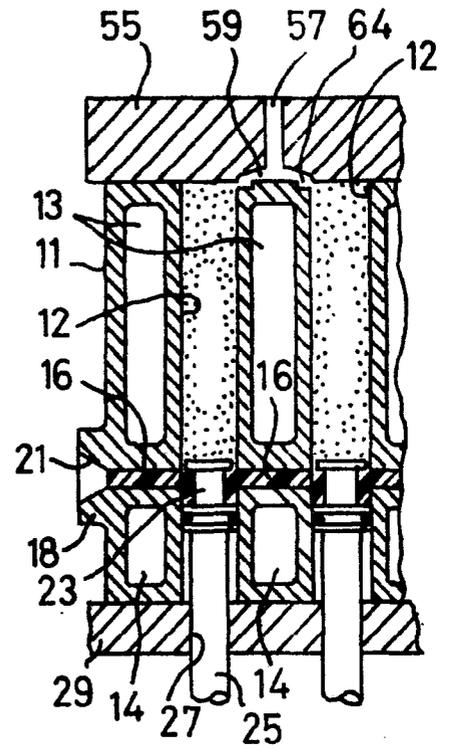


FIG. 3

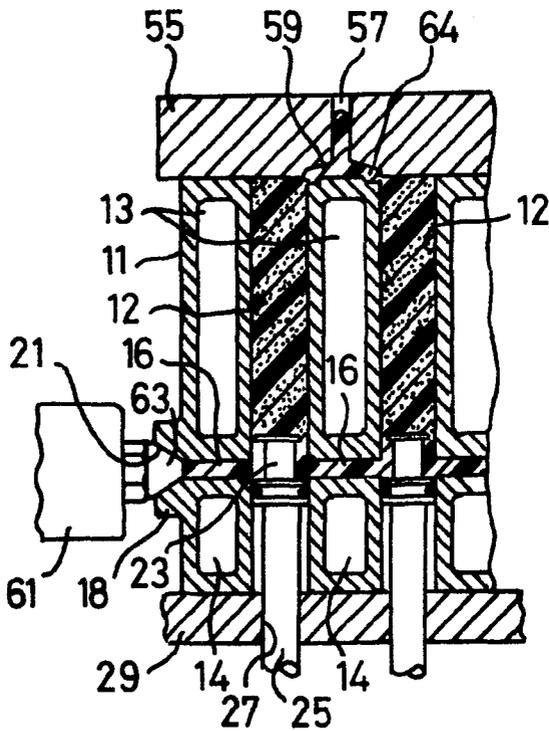


FIG. 4

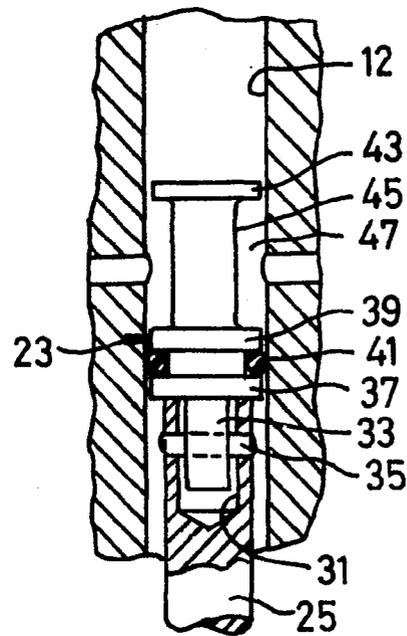


FIG. 6

609853/0286

