

⑤

Int. Cl. 2:

G 21 C 21/02

⑱ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



1
6
1

⑪

Patentschrift 21 62 697

⑫

Aktenzeichen: P 21 62 697.1-33

⑬

Anmeldetag: 17. 12. 71

⑭

Offenlegungstag: 27. 7. 72

⑮

Bekanntmachungstag: 24. 5. 73

⑯

Ausgabetag: 5. 8. 76

Patentschrift stimmt mit der Auslegeschrift überein

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒ ㉓

8. 1. 71 USA 104946

㉔

Bezeichnung:

Verfahren und Vorrichtung zum Druckaufbau in Kernbrennstäben

㉕

Patentiert für:

The Babcock & Wilcox Co., New York, N.Y. (V.St.A.)

㉖

Vertreter:

Karstedt, E., Dipl.-Ing. Dr., Pat.-Anw., 4200 Oberhausen

㉗

Erfinder:

Heer, William F.; Carli, Earl V. de; Lynchburg, Va. (V.St.A.)

㉘

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DT-OS 18 06 599

Feinwerktechnik, 74, 1970, H. 4, S. 155-162

C

FIG. 1

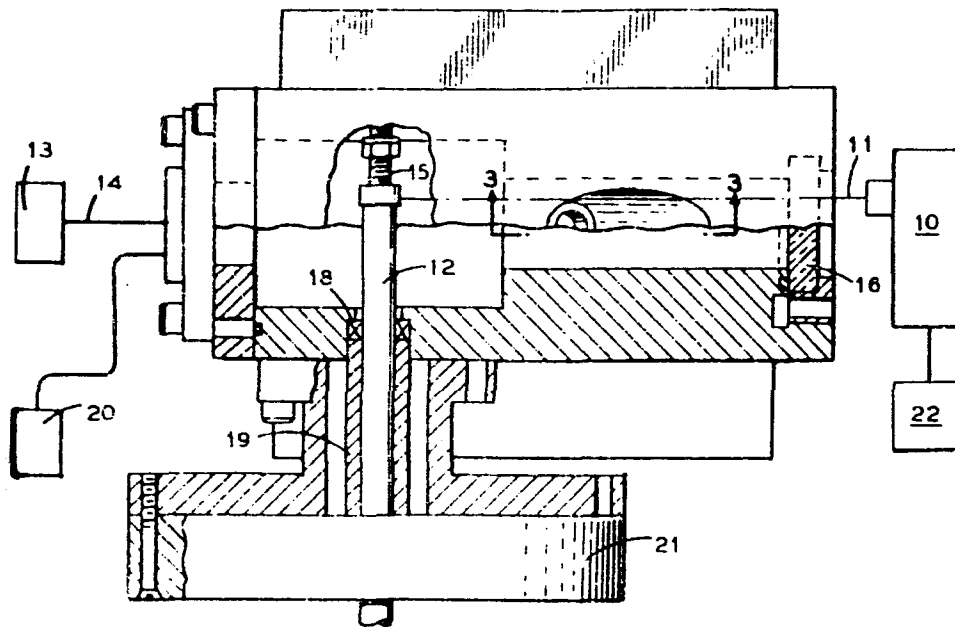


FIG. 2

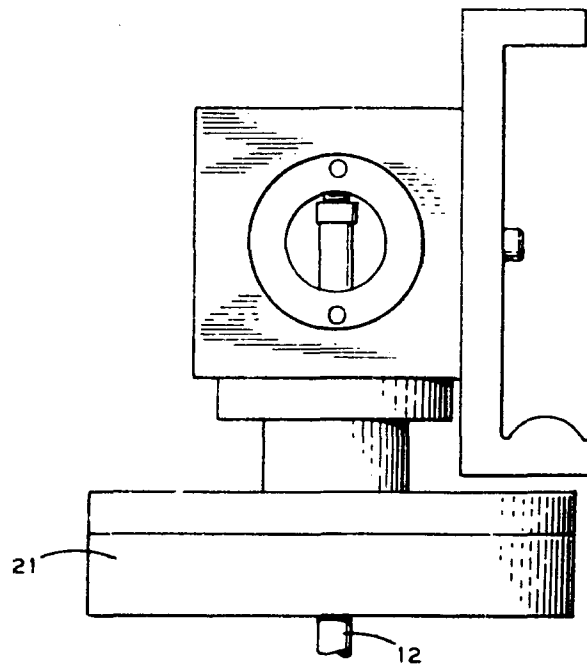
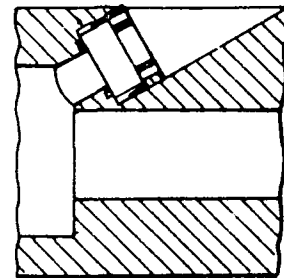


FIG. 3



Patentansprüche:

1. Verfahren zum Druckaufbau in einem verschlossenen, gefüllten Kernbrennstab, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

- a) Einbringen des Kernbrennstabes in eine geschlossene Kammer,
- b) Evakuieren der Kammer zur Schaffung eines Vakuums,
- c) Aufbringen einer Laser-Lichtenergie zwischen etwa 160 und 740 000 Joule pro cm² auf eine gewünschte Stelle auf der Oberfläche der Hülle des Kernbrennstabes zur Herstellung eines Loches, das eine Verbindung mit dem Innern herstellt,
- d) Aufbau eines Druckes in der Kammer mittels eines Inertgases auf eine Höhe, die über dem atmosphärischen Druck liegt, und
- e) Wiederaufbringen der genannten Lichtenergie auf einen vergrößerten Bereich um den Umfang des Loches herum, um dasselbe zu verschließen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtenergie zwischen etwa 13 000 und etwa 110 000 Joule pro cm² liegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß etwa 52 360 Joule pro cm² auf einen Kernbrennstab mit einer Hülle aus Zircaloy aufgebracht werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer auf 20 μ evakuiert wird und erst nach Erreichen des Druckgleichgewichtes der Inertgasdruck in der Kammer aufgebaut wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die vollständige Verbindung des Loches mit dem Innern des Kernbrennstabes an Hand der Vakuumanzeige, die eine beträchtliche Verminderung des Vakuums in der Kammer anzeigt, überwacht wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer vor dem Verschließen des Loches auf einen Druck von 28 kg/cm² gebracht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer im Anschluß an das Verschließen des Loches erneut evakuiert wird, damit über eine Vakuumleckprüfung die Dichtheit des Verschlusses des Kernbrennstabes überprüft werden kann.

8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 und/oder einem der folgenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Druckkammer zur Aufnahme eines gefüllten Brennstoffstabes (12) mit einer Vakuumpumpe (13), einer Laserstrahl-Einrichtung (10) sowie mit einer Einrichtung (20) zur Zuführung von Luft, Gas od. ägl. versehen ist.

Aufbau eines Druckes mit einem Inertgas in einem bereits gefüllten und abgedichteten Kernbrennstab. In neuester Zeit ist es bei Spezialkonstruktionen bestimmter Atomreaktoren notwendig geworden, Brennstoffstäbe vorzusehen, die innen unter Druck stehen, wenn sie in den Kern von Atomreaktoren eingesetzt werden. Die einfachste Lösung eines solchen Problems bestand darin, die Brennstäbe mit Kernbrennstoff zu beladen und sie dann unter Druck zu setzen. Dazu ist es aber notwendig, für die Druckbeaufschlagung Zugang zum Innern derartiger Stäbe zu schaffen.

Zu diesem Zweck ist es bekannt, vorbereitete Endkappen zu verwenden, um einen Brennstab nach dem Füllen zu verschließen. Dabei enthalten die für diese Aufgabe verwendeten Endkappen je ein Zugangsloch, das nach dem Druckaufbau in jedem der Stäbe durch ein Inertgas verschlossen oder versiegelt wurde (deutsche Offenlegungsschrift 1 806 599). Der entscheidende Mangel bestand bei einem solchen Verfahren darin, daß vor dem Druckaufbau und dem Verschließen der Kernbrennstoff in den Stäben der Verunreinigung durch die umgebende Atmosphäre ausgesetzt war. Das führte letzten Endes zu einer Verschlechterung der Leistung derartiger Stäbe im Reaktorcore, falls nicht viele zeitraubende und langwierige Vorsichtsmaßnahmen getroffen wurden, um die Qualität des Kernbrennstoffes zu gewährleisten. Darüber hinaus waren Spezialeinrichtungen notwendig und zusätzlich der Einsatz von gut ausgebildetem Personal für die Bedienung derartiger Einrichtungen. Dadurch wurden die Verarbeitungskosten erhöht. Weiterhin wurde festgestellt, daß die Lage des Zugangsloches in einzelnen Kappen eines jeweiligen Bündels nicht immer die gleiche war, wodurch während des Schließvorganges eine gewisse Orientierung notwendig war. Infolgedessen wurde es als äußerst schwierig empfunden, einen einwandfreien Verschuß eines jeden Zugangsloches bei ständiger Wiederholung in angemessener Weise zu gewährleisten, wenn solche Stäbe in einer großen Anzahl zu verschließen waren. Es bestand also immer ein Zweifel darüber, ob tatsächlich in jedem der Stäbe Druck vorhanden war, wenn nicht ein äußerst langwieriges Kontrollprogramm abgewickelt wurde, um die Qualität der Stäbe bei ständiger Wiederholung zu gewährleisten. Ein solches Programm war leider notwendig, weil, wenn zufällig irgendein Brennstab nicht unter Druck stand, dieser Stab für den beabsichtigten Zweck bei bestimmten Kernreaktoren ausfallen konnte.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, innerhalb der Hülle eines gefüllten Brennstoffstabes einen bestimmten Inertgas-Druck aufzubauen, ohne daß technische Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Qualität des Erzeugnisses und dem Verfahren zur Erzielung einer solchen Qualität auftreten. Das Verfahren soll in einem breiten Spektrum von Betriebsbedingungen leicht eingesetzt werden können, ohne daß der Brennstoff dabei einer potentiellen Verunreinigung ausgesetzt wird und ohne daß zahlreiche Spezialvorgänge komplizierter Art notwendig sind. Durch eine solche Maßnahme sollen der Fertigungsprozeß und die Verarbeitungskosten gegenüber den bisherigen Verfahren vermindert werden. Weiterhin soll bei dem Verfahren das sich ergebende Erzeugnis an Ort und Stelle zerstörungsfrei zur vollständigen Qualitätskontrolle im Zusammenhang mit

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Druckaufbau in einem verschlossenen, gefüllten Kernbrennstab. Insbesondere erstreckt sich die Erfindung auf ein Verfahren zum

dem Druckaufbau in solchen Stäben geprüft werden können.

Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß man einen verschlossenen, beschichteten Kernbrennstab an eine bestimmte Stelle in einer geschlossenen Kammer bringt, die dann unter Vakuum gesetzt wird. Dann wird eine bestimmte Lichtenergiemenge von einer festen Laserquelle auf eine bestimmte Stelle auf der Außenseite des Stabes gerichtet, bis darin ein feines Loch hergestellt ist, das mit dem Innern des Stabes verbindet, wodurch darin seitens der Kammer ein Vakuum erzeugt wird. Nachdem sich in der Kammer und im Stabinnern Druckgleichgewicht eingestellt hat, wird sie mit einem Inertgas auf einen über dem Atmosphärendruck liegenden Druck gebracht; danach wird wieder eine bestimmte Lichtenergiemenge von der gleichen festen Laserstrahlquelle auf die Außenfläche um den Umfang des feinen Loches gerichtet, um dasselbe zu verschließen. Dieses Verfahren wird ohne eine Bewegung der Lichtquelle oder des Brennstabes abgewickelt, nachdem dieser anfänglich an Ort und Stelle gebracht worden ist.

Die Erfindung weist den Vorteil auf, die zuvor genannten technischen Erfordernisse mit besonderer Betonung der Einfachheit des Verfahrens zum Aufbau des Druckes in derartigen Brennstäben mittels eines Inertgases vollkommen zu erfüllen, und zwar unter Verwendung der bekannten Technik des Bohrens und Schweißens mit Laserstrahlen (Feinwerktechnik 74 [1970], H. 4, Seiten 155 bis 162). Dabei kann das Verfahren mit einem optimalen Wirkungsgrad bei ständiger Wiederholung innerhalb eng eingehaltener Qualitätsgrenzen für die Stäbe und ihren Inhalt durchgeführt werden, wodurch eine vollständige und wirksame Nutzung eines jeden der Erzeugnisse für den jeweilig beabsichtigten Verwendungszweck gewährleistet wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Es zeigt

Fig. 1 eine Draufsicht der bei dem Verfahren eingesetzten Kammer,

Fig. 2 eine Vorderansicht der Vorrichtung nach Fig. 1,

Fig. 3 einen Schnitt entlang der Linie 3-3 in Fig. 1.

Bei der bevorzugten Ausführungsform, wie sie in den Fig. 1 bis 3 dargestellt ist, wird ein Ende eines Kernbrennstabes 12 in eine Druckkammer gegen einen dauerhaften Anschlag 15 eingebracht, der den Stab in einer wirksamen Weise gegen eine Vorwärtsbewegung arretiert. Eine Schließvorrichtung 21, bestehend aus dem Kolben 19 und dem Ring 18, wird dann nach vorn geschoben, um der Brennstab an Ort und Stelle gegen den Anschlag 15 zu verschließen und um die Druckkammer gegen Leckage zu verschließen, wodurch eine Kontrolle der Atmosphäre in der Kammer gewährleistet wird. Jetzt wird eine Vakuumpumpe 13, die mit dem Innern der Kammer verbunden ist, eingeschaltet; sie evakuiert die letztgenannte Kammer über die Leitung 14, um ein Vakuum bei einem niedrigen Mikronniveau zu erzielen, bei dem die Pumpe abgeschaltet wird. Sehr gute Ergebnisse wurden erreicht, als ein Vakuum von 20μ in diesem Verfahrensstadium aufrechterhalten wurde.

Eine Laserquelle 10, deren Lage in bezug auf die

Kammer während der Prozeßabwicklung gesichert ist, wird dann durch eine Energiequelle 22 beaufschlagt, und ein energiereicher Lichtstrahl 11 der Laserart wird durch eine Glasöffnung 16 geleitet, die in der Seite der Kammer angebracht ist. Dieser Laserstrahl 11, wie in Fig. 1 dargestellt, durchläuft die evakuierte Hohlkammer und trifft auf die Seite des Brennstabes an der gewünschten Stelle, bis ein feines Loch durch die Brennstabhülle gebohrt ist. Der dauerhafte Anschlag 15 hilft dabei, die Lage des Stabes 12 einzuhalten, und ist ein beständig zuverlässiges Mittel, mit dem man gewährleisten kann, daß die Stäbe bei dauernder Wiederholung in jedem einzelnen Fall der in einem Packen oder Bündel vorhandenen Brennstäbe an der gleichen Stelle durchbohrt werden.

Die Energiemenge, die erforderlich ist, um ein feines Loch durch die Hülle des Brennstabes zu bohren, kann für die verschiedenen Materialarten mathematisch errechnet werden.

Bei der Verwendung von konventionellen Laseranlagen kann jedoch in jedem Falle die für das Bohren erwünschte Energiehöhe durch Änderung des Spannungsausgangs, der Öffnungen und der konventionellen Brennlinen erreicht werden. Die bisher eingesetzte Laserquelle war ein Neodym-Glas-Lasersystem Bauart 1200-2 R der Firma Holobeam Inc. Eine große Anzahl von konventionellen Kernbrennstäben mit Hüllen aus verschiedenen Materialien kann dadurch durchdrungen werden, daß man Lichtenergie der Laserart in einem Bereich anwendet, der etwa zwischen 160 und 740 000 Joule pro cm^2 liegt. Jedoch können durchaus annehmbare Ergebnisse erzielt werden, wenn für eine solche Durchbohrung der Hülle eines verschlossenen, gefüllten Kernbrennstabes eine Energiehöhe zwischen etwa 13 000 und etwa 110 000 Joule pro cm^2 eingesetzt wird. Bei der bevorzugten Ausführungsform wurden optimale Ergebnisse erreicht, als Lichtenergie von etwa 52 360 Joule pro cm^2 verwendet wurde, um eine Brennstabhülle aus Zircaloy zu durchbohren.

Wenn einmal ein feines, mit dem Innern des verschlossenen Brennstabes verbindendes Loch hergestellt ist, wird der Druck innerhalb des Stabes durch das Loch in die Kammer abgeleitet, und das verringert beträchtlich das in der Kammer herrschende Vakuum. Das Vakuum der Kammer wird jederzeit während dieses Verfahrensstadiums überwacht, und eine Änderung wie diese beträchtliche Verringerung wird sofort erkannt und kann dauerhaft aufgezeichnet werden, um einen Beweis dafür zu haben, daß ein Verbindungsloch voll hergestellt ist. In der Praxis herrscht in dem Brennstab ein Innendruck von etwa 1 at , und ein großer Ausschlag auf dem Vakuummesser zeigt im allgemeinen an, daß die Druckableitung in die Kammer stattgefunden hat. Nachdem in der Kammer wieder Druckgleichgewicht hergestellt ist, wird die Pumpe wieder eingeschaltet, um ein Vakuum im Bereich von etwa 15μ zu erzeugen, damit das Restgas in der Kammer weiter evakuiert wird.

Zu diesem Zeitpunkt wird die Vakuumquelle wieder abgeschaltet und ein Inertgas 20, wie z. B. Helium, Argon oder ein Gemisch derselben, in die Kammer unter dem gewünschten Druck eingeführt, der natürlich über 1 at liegen wird. In der Vergangenheit hat es sich erwiesen, daß so hohe Drücke

wie 20 bis 40 kg/cm² bei den in der Industrie verwendeten Brennstäben konventioneller Bauart sehr akzeptabel sind. Man läßt eine ausreichend Zeit verstreichen, damit der ganze Stab unter Druck gesetzt wird, und eine solche Zeitspanne kann durch ein konventionelles Zeitrelais gemessen werden.

Nachdem Druckgleichgewicht in der Kammer bei der gewünschten Druckhöhe erreicht ist, wird die feste Laserquelle wieder in Tätigkeit gesetzt, um das Loch zu verschließen, wobei der Stab an Ort und Stelle bleibt. Die Größe, die Tiefe und die Flächenbildung des Verschlusses oder der Schweiße können leicht dadurch geregelt werden, daß man den Spannungsausgang, die Öffnungsgrößen oder Linsen ändert, die für die Fokussierung des Laserstrahls verwendet werden.

Die pro Flächeneinheit für das Verschließen erforderliche Lichtenergie ist im allgemeinen wesentlich geringer als diejenige, die für das Bohren benötigt wird. Dies kann jedoch leicht erreicht werden, selbst wenn eine konstante Energieerzeugungsquelle eingesetzt wird; man erweitert nämlich auf der Stabfläche den Auftreffbereich, indem man einfach die Brennlinsen auswechselt oder eine konventionelle Brennlinse zwischen der Quelle und dem Stab zwischenschaltet. Man kann zu dem gleichen Zweck auch die Öffnungsgröße der Quelle erweitern oder die Energiebeaufschlagung der Lichtquelle herabsetzen. Wenn die letztgenannte Maßnahme ergriffen wird, dann kann die Spannung für die Zwecke der Qualitätskontrolle dauerhaft aufgezeichnet werden. In der Praxis hat man festgestellt, daß befriedigende Ergebnisse erreicht wurden, als der Verschluß oder die Schweiße zwischen einer Flächenüberhöhung von etwa 0,5 mm und einer Flächenvertiefung von etwa 0,08 mm lag.

Jetzt kann der Druck in der Kammer durch ein konventionelles Abblasventil abgebaut werden, wonach der Prozeß abgeschlossen ist. Jedoch kann es in vielen Fällen aus Gründen der Qualitätskontrolle, d. h., um zu gewährleisten, daß ein wirksamer Verschluß in der Stabfläche hergestellt worden ist,

wünschenswert sein, die Kammer wieder auf ein Vakuum mit niedriger Mikronhöhe zu evakuieren. Wenn eine Leckage oder eine Unvollkommenheit an dem Verschluß oder der Schweiße vorhanden ist, dann wird man das wieder durch einen beträchtlichen Ausschlag auf dem Vakuummesser erkennen. Wenn dies der Fall ist, dann können die Stufen des Druckaufbaus und des Verschließens wiederholt werden, um die Qualität des Produkts zu gewährleisten.

Nachdem der Druck in der Kammer auf Raumzustand gebracht worden ist, kann der unter Druck gesetzte Brennstab aus der Kammer entfernt werden, indem man einfach an dem Kolben zieht, um den Verschluß um den Stab herum zu lösen. Damit ist der Prozeß abgeschlossen und der Stab bereit, um im Core eines Atomreaktors Verwendung zu finden.

Die Vorteile dieses Verfahrens schließen den Druckaufbau in einem Brennstab ein, ohne daß dabei der innere Kernbrennstoff potentiellen Schmutzstoffen ausgesetzt wird, wie z. B. verhältnismäßig unsauberer Atmosphäre oder Reinigungsmitteln. Die Stäbe können jederzeit während der Fertigung ohne Schwierigkeiten oder Nachteile unter Druck gesetzt werden, und dies kann ohne besondere Arbeitsvorgänge erreicht werden. Somit wird das Fertigungsverfahren abgekürzt, da die Arbeitsvorgänge für die Herstellung solcher Druckbrennstäbe auf ein Geringstmaß herabgesetzt werden.

Weiter kann der Verschluß oder die Schweiße mit vollständiger Zuverlässigkeit zerstörungsfrei geprüft werden, wodurch gewährleistet wird, daß Druck in solchen Brennstäben vorhanden ist und daß der Stab für seinen beabsichtigten Verwendungszweck einsatzfähig ist. Für die Zwecke der Qualitätskontrolle wird auch gewährleistet, daß das Loch oder der Verschluß in einer genauen Lage bei ständiger Wiederholung hergestellt wird, wenn mehr als ein Stab unter Druck zu setzen ist. Auch die Reparatur schadhafter Stäbe kann in einer vereinfachten Weise wirksam und zweckdienlich nach dem erfindungsgemäßen Verfahren durchgeführt werden.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

3 642