



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤① Int. Cl.³: G 21 C 3/28

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENT SCHRIFT** A5

⑪

622 642

⑳① Gesuchsnummer:	12508/75	⑦③ Inhaber:	General Atomic Company, San Diego/CA (US)
⑳② Anmeldungsdatum:	26.09.1975		
⑳③ Priorität(en):	30.09.1974 US 510390	⑦② Erfinder:	David Frederick Leary, San Diego/CA (US) Roy George Cooper, Rancho Santa Fe/CA (US) Gary Norris Miertschin, San Diego/CA (US)
⑳④ Patent erteilt:	15.04.1981		
④⑤ Patentschrift veröffentlicht:	15.04.1981	⑦④ Vertreter:	E. Blum & Co., Zürich

⑤④ **Für die Herstellung von Kernbrennstoffstäben geeignete Matrix sowie ihre Verwendung zur Herstellung von Kernbrennstoffstäben.**

⑤⑦ Die Matrix, welche für die Herstellung von Kernbrennstoffen verwendet werden kann, enthält Graphitmehl, Pech und einen Zusatzstoff zur Verminderung der Viskosität und Haftfähigkeit der Matrix bei erhöhten Temperaturen. Der genannte Zusatzstoff wird unter gesättigten und ungesättigten Alkoholen mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30, gesättigten und ungesättigten Fettsäuren mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30, gesättigten und ungesättigten primären Aminen mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30 und gesättigten Kohlenwasserstoffen, die sich von Erdöl ableiten, mit einem Molekulargewicht im Bereich von 350 bis 1400 ausgewählt.

PATENTANSPRÜCHE

1. Matrix, die für die Herstellung von Kernbrennstoffstäben geeignet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Matrix enthält: Graphitmehl, Pech und einen Zusatzstoff zur Vermeidung der Viskosität und Haftfähigkeit der Matrix bei erhöhten Temperaturen, wobei der Zusatzstoff ausgewählt wird unter gesättigten und ungesättigten Alkoholen mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30, gesättigten und ungesättigten Fettsäuren mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30, gesättigten und ungesättigten primären Aminen mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30 und gesättigten Kohlenwasserstoffen, die sich von Erdöl ableiten, mit einem Molekulargewicht im Bereich von 350 bis 1400.

2. Matrix nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Zusatzstoff ein gesättigtes oder ungesättigtes primäres Amin mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 26 ist.

3. Matrix nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Zusatzstoff ein gesättigtes oder ungesättigtes primäres Amin mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 20 ist.

4. Matrix nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Zusatzstoff ein gesättigter oder ungesättigter Alkohol mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 20 ist.

5. Matrix nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Zusatzstoff eine gesättigte oder ungesättigte Fettsäure mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 20 ist.

6. Matrix nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Zusatzstoff ausgewählt wird aus der Gruppe, die enthält: 1-Octadecanol, 1-Hexadecanol, Ölsäure, Stearinsäure, 1-Octadecylamin, Vaseline bzw. Paraffinöl und Mischungen davon.

7. Matrix nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Zusatzstoff in einer Menge von 0,5 bis 30 Gew.-% vorhanden ist.

8. Matrix nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Zusatzstoff in einer Menge von 2 bis 12 Gew.-% vorhanden ist.

9. Matrix nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Zusatzstoff in einer Menge von 5 bis 10 Gew.-% vorhanden ist.

10. Matrix nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Graphitmehl in einer Menge von 20 bis 50 Gew.-% vorhanden ist.

11. Matrix nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Graphitmehl in einer Menge von 25 bis 45 Gew.-% vorhanden ist.

12. Matrix nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Pech in einer Menge von 30 bis 75 Gew.-% vorhanden ist.

13. Matrix nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Pech in einer Menge von 43 bis 73 Gew.-% vorhanden ist.

14. Matrix nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Viskosität unter 1000 P, bestimmt mit einem Kapillarviscometer bei einer Temperatur von 175 °C und einer Wandscherrate von 100 s⁻¹ besitzt.

15. Die Verwendung der Matrix gemäss Anspruch 1 zur Herstellung von Kernbrennstoffstäben, dadurch gekennzeichnet, dass man die Matrix mit Kernbrennstoffteilchen vermischt, um eine Formmischung herzustellen, die Formmischung in eine Form gibt und die Formmischung unter Bildung eines Kernbrennstoffstabes kombiniert.

16. Verwendung von Matrix gemäss Anspruch 1, zur Herstellung von Kernbrennstoffstäben, dadurch gekennzeichnet, dass man die Matrix erwärmt und die Matrix in eine Form injiziert, die Kernbrennstoffteilchen enthält, um den Kernbrennstoffstab zu bilden.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Matrix, die zur Herstellung von Kernbrennstoffstäben geeignet ist. Die erfindungsgemässe Matrix kann zur Herstellung von Kernbrennstoffmaterialien erhalten, die für die Verwendung in gasgekühlten Hochtemperatur-Kernreaktoren geeignet sind. Die Erfindung betrifft insbesondere eine Matrix die für die Herstellung von Kernbrennstoffpresskörpern bei niedrigen Herstellungsdrücken geeignet ist, ohne dass von aussen angewendete Formtrennmittel verwendet werden müssen.

Kernbrennstoffpresskörper in Stabform werden bei gasgekühlten Hochtemperatur-Kernreaktoren verwendet. Solche Kernbrennstoffstäbe werden im allgemeinen hergestellt, indem man Kernbrennstoffteilchen mit einer Matrix umgibt, die eine Mischung aus Graphitmehl und Pech enthält. Der Ausdruck «Pech», wie er hierin verwendet wird, bedeutet Restprodukte, die bei der destruktiven Destillation von solchen organischen Materialien wie Kohle, Erdöl und Holz gebildet werden. Die Kernbrennstoffstäbe werden gewöhnlich in einer Metallform nach einem von zwei Verfahren hergestellt. Bei einem Verfahren wird die Form zum Beispiel mit Kernbrennstoffteilchen gefüllt und eine heisse Graphit-Pech-Matrix wird in die Form injiziert, so dass sie die Kernbrennstoffteilchen umgibt. Bei einem anderen Verfahren kann eine Graphit-Pech-Matrix hergestellt und granuliert werden. Das gekörnte Material wird dann in der Regel mit Kernbrennstoffteilchen vermischt, um eine Formmischung zu bilden, die die Kernbrennstoffteilchen enthält. Die Formmischung aus granulierter Matrix und Kernbrennstoffteilchen kann dann in die Form eingefüllt werden. Anschliessend wird die Formmischung vorzugsweise erwärmt und innerhalb der Form komprimiert. Bei beiden Verfahren kann, nachdem der Brennstoffstab in der Form gebildet wurde, die Form abgekühlt und der Brennstoffstab aus der Form herausgestossen werden, indem man den Brennstoffstab aus der Form herausdrückt.

Die Viskosität der Matrix aus Graphitmehl und Pech bei der Temperatur, bei der der Brennstoffstab nach den oben beschriebenen Verfahren gebildet wird, ist ein wichtiger Faktor bei der Bestimmung des Druckes, der erforderlich ist, um einen geeignet dichten Kernbrennstoffpressling herzustellen. Es ist wünschenswert, die Viskosität zu erniedrigen, so dass es möglich wird, niedrigere Herstellungsdrucke zu verwenden. Zu hohe Herstellungsdrucke können eine Beschädigung der Kernbrennstoffteilchen während der Herstellung des Kernbrennstoffstabes bewirken. Es wäre daher wünschenswert, einen Zusatzstoff für Kernbrennstoff-Formmischungen zu schaffen, der so wirkt, dass der Herstellungsdruck vermindert werden kann, wenn aus der Formmischung Brennstoffstäbe gebildet werden.

Nach dem Herausstossen aus der Form wird der grüne Brennstoffstab zum Beispiel in ein Graphitbrennstoffelement gegeben und auf eine Temperatur zwischen 1200 und 2000 °C erwärmt, um die Kohlenwasserstoffe zu carbonisieren. Das Graphitbrennstoffelement besitzt üblicherweise einen sechseckig geförmten Querschnitt und eine Anordnung von zwischen ungefähr 50 und ungefähr 210 Löchern für die Aufnahme der Brennstoffstäbe. Eine ungefähr gleiche Zahl an Kühlmittellöchern erstreckt sich durch die Länge des Graphitbrennstoffelements. Die Wärmebehandlung bewirkt, dass das Bindemittelmaterial in der Brennstoffstabmatrix gleichzeitig eine Zersetzung und Carbonisierung erleidet.

Eine Vielzahl von grünen Brennstoffstäben wird in jedes Brennstoffloch gegeben. Während der Carbonisierungswärme-

behandlung sinken die grünen Brennstoffstäbe ein und haften an den Wänden der Brennstofflöcher in dem Graphitbrennstoffelement. Ein solches Festhaften ist bei dem nachfolgenden Betrieb des Brennstoffelements nachteilig wegen der differentiellen Expansion oder Kontraktion des Graphitbrennstoffelements, und die Brennstoffstäbe können Risse bilden bzw. brechen. Es wäre daher wünschenswert, die Eigenschaft der Brennstoffstäbe, an den Wänden der Brennstofflöcher während der Carbonisierungswärmebehandlung zu haften, zu vermindern oder zu beseitigen.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Ausgangsmaterial nämlich die Matrix, für die Herstellung von Kernbrennstoffstäben zu schaffen, die in gasgeköhlten Hochtemperaturreaktoren verwendet werden können. Erfindungsgemäss soll eine Matrixformulierung geschaffen werden, die bei der Herstellung von Kernbrennstoffstäben verwendet werden kann, die eine niedrige Viskosität bei den Herstellungstemperaturen besitzt, wodurch es möglich wird, die Brennstoffstabherstellung bei niedrigeren Temperaturen und mit erhöhter Produktivität durchzuführen. Die Matrix die bei der Herstellung von Kernbrennstoffstäben verwendet werden kann, weist die Eigenschaft auf, die Adhäsion der Brennstoffstäbe gegenüber den Graphitbrennstoffelementen nach dem Erwärmen der Brennstoffstäbe in den Graphitbrennstoffelementen zu vermindern oder zu beseitigen.

Die erfindungsgemässe Matrix ist dadurch gekennzeichnet, dass sie enthält: Graphitmehl, Pech und einen Zusatzstoff zur Verminderung der Viskosität und Haftfähigkeit der Matrix bei erhöhten Temperaturen, wobei der Zusatzstoff ausgewählt wird unter gesättigten und ungesättigten Alkoholen mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30, gesättigten und ungesättigten Fettsäuren mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30, gesättigten und ungesättigten primären Aminen mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30 und gesättigten Kohlenwasserstoffen, die sich von Erdöl ableiten, mit einem Molekulargewicht im Bereich von 350 bis 1400.

Im allgemeinen können aus der erfindungsgemässen Matrix Kernbrennstoffstäbe hergestellt werden, indem man eine Graphitmehl-Pech-Matrixformulierung verwendet, die darin homogen dispergiert einen Zusatzstoff enthält. Die Matrixformulierung besitzt eine verminderte Viskosität bei den Herstellungstemperaturen, wodurch die Herstellung von Brennstoffstäben mit niedrigeren Herstellungsdrücken ermöglicht wird. Die Matrixformulierung bewirkt ebenfalls, dass der Brennstoffstab an dem Brennstoffelement während der Wärmebehandlung des Brennstoffstabs in dem Brennstoffelement nicht haftet oder sich nicht damit verbindet. Kernbrennstoffstäbe sind für die Verwendung in gasgeköhlten Hochtemperatur-Kernreaktoren geeignet.

Bei dem Herstellungsverfahren wird zum Beispiel eine Matrix aus Pech und Graphitmehl gebildet. Die Matrix wird bevorzugt gebildet, indem man das Pech auf eine erhöhte Temperatur von ungefähr 100 bis ungefähr 300 °C erwärmt und das Graphitmehl mit dem Pech bei der erhöhten Temperatur gut vermischt, um das Graphitmehl und das Pech einheitlich zu vermischen. Die Mischung wird dann gewöhnlich abgekühlt. Nach dem Abkühlen wird die Mischung in der Regel vermahlen, um eine teilchenförmige Matrix mit einer Teilchengrösse herzustellen, die für die Kernbrennstoffstabbildung geeignet ist. Die Matrix kann ebenfalls gebildet werden, indem man das Pech auf eine geeignete Teilchengrösse vermahlt und das Graphitmehl mit dem gemahlenen Pech vermischt, um die Matrix zu schaffen. Der Zusatzstoff kann in der Matrix entweder während oder nach ihrer Herstellung dispergiert werden, wie es im folgenden näher erläutert wird.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird die Matrix mit einer geeigneten Menge an teilchenförmigem Kernbrennstoffmaterial vermischt, um die Formmischung herzustellen.

Anschliessend können Kernbrennstoffstäbe gebildet werden, indem man die Formmischung in eine Stahlform gibt und die Formmischung in der Form komprimiert.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die Matrix erwärmt und in eine Stahlform injiziert, die mit teilchenförmigem Kernbrennstoffmaterial gefüllt ist.

Bei beiden Ausführungsformen können die Brennstoffstäbe nach dem Ausstossen der Brennstäbe aus der Form in ein Graphitbrennstoffelement gegeben werden und auf eine Temperatur zwischen 1200 und 2000 °C erwärmt.

Erfindungsgemäss enthält die Matrix Graphitmehl, Pech und einen Zusatzstoff. Der Zusatzstoff vermindert die Viskosität der Matrix bei derjenigen Temperatur, die bei der Herstellung der Brennstoffstäbe angewendet wird, und er vermindert die Neigung der Matrix, an den Graphitbrennstoffelementen zu haften, nachdem sie in dem Brennstoffelement erwärmt wurden. Der Zusatzstoff vermindert weiterhin vor allem die Scherkraft, die erforderlich ist, um die Brennstoffstäbe aus der Metallform, in der die Brennstoffstäbe hergestellt wurden, abzugeben. In diesem Zusammenhang sei gesagt, dass eine Scherkraft, unter ungefähr 3,5 kg/cm² ausreicht, um den Brennstoffstab aus der Metallform freizusetzen, wenn der genannte Zusatzstoff in den angegebenen Mengen vorhanden ist.

Die Zusatzstoffe sind gesättigte und ungesättigte Alkohole mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30, gesättigte und ungesättigte Fettsäure mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30, gesättigte und ungesättigte primäre Amine mit einer Kohlenstoffkettenlänge von 12 bis 30 und gesättigte Kohlenwasserstoffe, die sich von Erdöl ableiten, mit einem Molekulargewicht im Bereich von 350 bis 1400.

Die Kernbrennstoffe können spaltbare Kernbrennstoffmaterialien oder Brutkernbrennstoffmaterialien sein, die üblicherweise mit der Herstellung von gasgeköhlten Kernreaktorbrennstoffelementen assoziiert sind. Geeignete Kernbrennstoffmaterialien sind verdünnte oder unverdünnte, mit pyrolytischer Kohle beschichtete ThC₂, ThO₂, UO₂, (Th, U)O₂ oder (Th, U) C₂-Mischungen. Das Kernbrennstoffmaterial ist bevorzugt im wesentlichen kugelförmig und besitzt eine Teilchengrösse im Bereich von 0,3 bis 1,2 mm.

Das Graphitmehl kann sich von irgendeinem kohlenstoffhaltigen Material ableiten und besitzt bevorzugt eine Teilchengrösse von mindestens weniger als 0,040 mm. Bevorzugt besitzt das Graphitmehl eine Teilchengrösse im Bereich von 0,0002 bis 0,040 mm.

Das Pech, das in der erfindungsgemässen Matrix vorhanden ist, kann sich von irgendwelchen Restprodukten ableiten, die bei der destruktiven Destillation von Kohle, Erdöl und Holz gebildet werden. Bevorzugt besitzt das Pech einen Erweichungspunkt unter 149 °C und eine Viskosität im Bereich von 100 bis 1000 P bei einer Temperatur von 175 °C, bestimmt mit einem Instron-Kapillarrheometer mit einer Scherrate von 100 s⁻¹.

Wenn zum Beispiel der Zusatzstoff ein Amin ist, enthält er bevorzugt 12 bis 26 Kohlenstoffatome. Noch bevorzugter enthalten die Alkohole, Fettsäuren und Amine 12 bis 20 Kohlenstoffatome. Der Zusatzstoff wird bevorzugt aus der folgenden Gruppe ausgewählt: 1-Octadecanol, 1-Hexadecanol, Ölsäure, Stearinsäure, 1-Octadecylamin, Vaseline bzw. Paraffinöl und Mischungen davon. Die genannten Zusatzstoffe ergeben eine Matrix, die eine Viskosität unter ungefähr 1000 P besitzt, bestimmt mit einem Kapillarviscometer bei einer Temperatur von 175 °C und einer Wandscherrate von 100 s⁻¹.

Es ist bevorzugt, den Zusatzstoff mit dem Graphitmehl und dem Pech der Matrix während der Herstellung der Matrix zu vermischen. Dadurch wird eine einheitliche Dispersion des Zusatzstoffs in der Matrix sichergestellt. In diesem Zusammenhang ist ein besonders bevorzugtes Verfahren ein solches, bei dem das Pech auf eine Temperatur erwärmt wird, bei der es

flüssig ist, das heisst zwischen 100 und 300 °C, um den Zusatzstoff mit dem erwärmten Pech zu vermischen. Anschliessend wird gewöhnlich das Graphitmehl zugegeben und die Mischung kann abgekühlt und gemahlen werden, um eine Matrix zu erhalten, die den Zusatzstoff einheitlich darin dispergiert enthält. Der Zusatzstoff kann ebenfalls mit dem Graphitmehl oder mit dem gemahlenen Pech vor der Herstellung der Matrix vermischt werden. Eine einheitliche Dispersion des Zusatzstoffes in dem Graphitmehl, dem gemahlenen Pech, dem erwärmten Pech oder der teilchenförmigen Matrix kann mit einer geeigneten Niedrigschermischvorrichtung, wie zum Beispiel eine Sigmaschaukelmischvorrichtung, erfolgen.

Die Matrix kann so «wie sie ist» verwendet werden, um Kernbrennstoffteilchen zu umgeben, die man zuvor in eine Form gegeben hatte, indem man die erwärmte Matrix in die Form einspritzt. Bei diesem Verfahren zur Herstellung von Brennstoffstäben wird die Matrix auf eine Temperatur von 100 bis 300 °C erwärmt. Im allgemeinen sind Einspritzdrucke von 35 bis 211 kg/cm² geeignet, um die Matrix, die den genannten Zusatzstoff enthält, einzuspritzen.

Die Matrix kann ebenfalls mit den Kernbrennstoffteilchen vor der Herstellung vermischt werden, um eine Formmischung herzustellen, die für die Kompression in einer Form geeignet ist, um Kernbrennstoffstäbe herzustellen. Bei diesem Verfahren für die Herstellung von Brennstoffstäben wird zum Beispiel die Mischung aus Matrix und Kernbrennstoffteilchen auf eine Temperatur von 100 bis 300 °C erwärmt und dann komprimiert. Ein Herstellungsdruck von 35 bis 211 kg/cm² reicht im allgemeinen aus, um die Mischung zu komprimieren, und man erhält einen grünen Brennstoffstab, der für die weitere Wärmebehandlung geeignet ist.

Im allgemeinen enthält die Matrix 20 bis 50 Gew.-%, bevorzugt 25 bis 45 Gew.-%, Graphitmehl und 30 bis 75 Gew.-%, bevorzugt 43 bis 73 Gew.-%, Pech. Die Menge an Zusatzstoff liegt im allgemeinen zwischen 0,5 und 30 Gew.-%, bevorzugt 2 bis 12 Gew.-%, und mehr bevorzugt 5 bis 10 Gew.-%. Im allgemeinen enthält der fertige Kernbrennstoffstab 55 bis 64 % Kernbrennstoffmaterial, ausgedrückt durch das Volumen, und 45 bis 36 % Matrix, ausgedrückt durch das Volumen.

Wie bereits weiter oben ausgeführt, ergeben die Zusatzstoffe eine Matrix mit verminderter Viskosität bei der Herstellungstemperaturen, und weiterhin ergeben sie einen Brennstoffstab mit verbesserter Beständigkeit gegenüber der Haftung an einem Brennstoffelement. Die genannten Zusatzstoffe besitzen weiterhin Formtrenneigenschaften. Die Verwendung der Zusatzstoffe in der Matrix ermöglicht die Herstellung von Kernbrennstoffpresslingen, ohne dass Formtrennmateriale auf die Oberfläche der Formen angewendet werden müssen. Die Multifunktionalität dieser Zusatzstoffe ergibt eine Matrix, die bei der Herstellung von Kernbrennstoffpresslingen mit sehr verbesserten Eigenschaften verwendet werden kann.

Die folgenden Beispiele erläutern die Erfindung.

Beispiel 1

Sechs Ansätze werden hergestellt. Die Ansätze enthalten 342 g Pech, 240 g Graphitmehl mit einer Teilchengrösse von weniger als 0,04 mm und 18 g Zusatzstoff.

Ein Kontrollansatz wird hergestellt, bei dem der Zusatzstoff durch weitere 18 g Pech ersetzt wird. Für jeden Ansatz wird das Pech auf eine Temperatur von 200 °C erwärmt, der Zusatzstoff wird mit dem erwärmten Pech vermischt und dann wird das Graphitmehl zugegeben. Die Mischung wird dann 30 Minuten in einer Sigmaschaukelmischvorrichtung bei einer Temperatur von 200 °C und einer Mischgeschwindigkeit von 100 U/min vermischt.

Nach dem der Ansatz abgekühlt ist, wird der Ansatz gemahlen, um eine Matrix mit einer Teilchengrösse im Bereich von 0,6 bis 0,9 mm herzustellen. Die Viskosität der Ansätze

wird dann bei 175 °C mit einem Kapillarviskosimeter bestimmt. Jeder Ansatz war nicht-newtonartig und zeigte eine Abnahme in der offensichtlichen Viskosität (Viskosität bei bestimmtem Geschwindigkeitsgefälle) mit zunehmender Scherrate bzw. -geschwindigkeit. Die offensichtlichen Viskositäten der Ansätze mit unterschiedlichen Zusatzstoffen bei einer Wandscherrate von 100 s⁻¹ sind in der folgenden Tabelle I angegeben. 7 g der Matrix werden mit 20 g Kernbrennstoffmaterial, welches beschichtete ThC₂-Teilchen und eine Teilchengrösse im Bereich von 0,6 bis 0,9 mm besitzt, vermischt. Jeder der Ansätze wird dann verwendet, um Kernbrennstoffstäbe herzustellen, indem man den 27 g-Ansatz in eine Stahlform gibt und den Ansatz bei einer Temperatur von 190 °C und einem Druck von 84 kg/cm² (1200 psig) komprimiert. Nachdem der Kernbrennstoffstab gebildet ist, wird die Wandscherkraft gemessen, die erforderlich ist, um jeden von vier nachfolgenden Stäben aus der gleichen Formvertiefung auszustossen, wobei die Formen zwischen den Stäben nicht gereinigt werden. Die durchschnittlichen Wandscherkraftwerte, die man für jeden Zusatzstoff erhält, sind in der folgenden Tabelle II angegeben.

Brennstoffstäbe, die wie oben beschrieben unter Verwendung einer Matrix ohne Zusatzstoffe hergestellt wurden, und Brennstoffstäbe, die unter Verwendung einer Matrix mit Zusatzstoffen hergestellt wurden, werden bei 1800 °C in Graphitärmeln mit einer Länge von 30 bis 48 cm (12 inches), einem Innendurchmesser von 15,875 mm (0,625 inches) und einem Aussendurchmesser von 24,765 mm (0,975 inches) behandelt, wobei beide Enden mit Graphit zugestopft sind. Man stellt fest, dass die Brennstoffstäbe, die unter Verwendung der Matrix ohne Zusatzstoffe hergestellt wurden, an den Graphitärmeln haften, wohingegen solche, die unter Verwendung eines Zusatzstoffs hergestellt wurden, nicht haften.

Tabelle I

Zusatzstoff	Viskosität P.
keiner	2350
Vaseline bzw. Paraffinöl (durchschnittliches Molekulargewicht ungefähr 500)	610
1-Octadecanol	600
Paraffinwachs (durchschnittliches Molekulargewicht ungefähr 700)	770
Ölsäure	920
Stearinsäure	660
2-Hexadecanol	800
Stearinsäure + Paraffin (50:50)	660
Stearinsäure + 1-Octadecanol (50:50)	660
1-Octadecylamin	800

Tabelle II

Zusatzstoff	Scherspannung kg/cm ² (psig)
keiner	133 (1900)
Vaseline bzw. Paraffinöl	0,6123 (8,71)
1-Octadecanol	0,0429 (0,61)
Paraffinwachs (durchschnittliches Molekulargewicht etwa 700)	2,199 (31,28)
Ölsäure	0,1483 (2,11)
Stearinsäure	0,0513 (0,73)
1-Hexadecanol	0,2503 (3,56)
Stearinsäure + Paraffin (50:50)	0,0851 (1,21)
Stearinsäure + 1-Octadecanol (50:50)	0,0985 (0,95)

Beispiel 2

Weitere Ansätze aus Graphitmehl, Pech und Zusatzstoffmatrix werden hergestellt, wobei man die in der folgenden Tabelle III angegebenen Formulierungen verwendet. Die offensichtliche Viskosität jedes Ansatzes wird bestimmt. Jeder der Matrixansätze wird dann verwendet, um Brennstoffstäbe nach dem Injektionsverfahren herzustellen. Bei diesem Verfahren werden 20 g ThC₂-Kernbrennstoffteilchen mit einer Teilchengröße im Bereich von 0,6 bis 0,9 mm in eine zylindrische

Stahlform mit einem Durchmesser von 15,9 mm gegeben. 7 g grobgemahlene Matrix mit einer Teilchengröße von ungefähr 0,6 mm werden auf die Brennstoffteilchen in der Form gegeben. Die Form wird dann auf eine Temperatur von 200 °C erwärmt und ein Kolben wird verwendet, um die Matrix durch die Brennstoffteilchen zu zwingen, so dass Brennstoffstäbe mit einer Länge von 61 mm erhalten werden. Die durchschnittliche Scherspannung, die erforderlich ist, um vier Brennstoffstäbe aus der Form zu entfernen, wird gemessen und ist in der folgenden Tabelle III angegeben.

Tabelle III

Graphit- mehl g	Pech ¹ g	Zusatz- stoff g	Zusatz- stoff Art	Offensichtliche Viskosität bei 175 °C und 100 s ⁻¹ , P.	Durchschnittliche Scherspannung kg/cm ² (psig)
180 ²	402	18	1-Octadecanol	410	0,89 (12,6)
180 ²	384	36	1-Octadecanol	420	1,02 (14,5)
198 ²	384	18	1-Octadecanol	460	1,02 (14,5)
198 ²	384	60	1-Octadecanol	270	0,75 (10,6)
240 ³	324	36	1-Octadecanol	380	1,02 (14,8)
240 ⁴	324	36	1-Octadecanol	260	0,14 (2,0)

¹ erhalten von Ashland Oil Co. und bezeichnet als A-240

² erhalten von Ashbury Graphite Corp. und bezeichnet als grade 6353

³ erhalten von Great Lakes Caron Co. und bezeichnet als grade 1089

⁴ erhalten von Lonza Ltd. und bezeichnet als grade KS-44