

(19)



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer:

AT 406 837 B

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer:

258/94

(51) Int. Cl.⁷: B22D 19/14

(22) Anmeldetag:

10.02.1994

(42) Beginn der Patentdauer:

15.02.2000

(45) Ausgabetag:

25.09.2000

(56) Entgegenhaltungen:

US 3853635A US 4802524A US 5150747A
US 5267601A DE 4117886A1 DE 3903310A1
EP 310550A1 EP 513685A1 GB 2150867A
WO 86/03997A1 JP 60191654A1

(73) Patentinhaber:

ELECTROVAC, FABRIKATION
ELEKTROTECHNISCHER SPEZIALARTIKEL
GESELLSCHAFT M.B.H.
A-1194 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

SCHMITT THEODORE NICOLAS DIPL. ING. DR.
WIEN (AT).

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG VON METALL-MATRIX-VERBUNDWERKSTOFFEN

(57) Verfahren zur Herstellung von Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen, bei dem ein Verstärkungsmaterial in Gestalt einer Vorform (3) mit schmelzflüssigem Metall ohne vorherige Vakuumbehandlung der Vorform (3) ausschließlich durch Gasdruckbeaufschlagung infiltriert wird, wobei die Vorform (3) in einen Vorformhalter (2), dieser Vorformhalter (2) in einen als separater Bauteil ausgebildeten Tiegel (6) und dieser Tiegel (6) in ein als separater Bauteil ausgebildetes Druckgefäß (1) eingebracht wird sowie die infiltrierte Vorform (3) unter Beibehaltung des Gasdruckes erstarrt gelassen wird.

AT 406 837 B

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung von Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen, bei dem ein Verstärkungsmaterial in Gestalt einer Vorform mit schmelzflüssigem Metall ohne vorherige Vakuumbehandlung der Vorform ausschließlich durch Gasdruckbeaufschlagung infiltriert wird, wobei die Vorform in einen Vorformhalter, dieser Vorformhalter in einen als separater Bauteil ausgebildeten Tiegel und dieser Tiegel in ein als separater Bauteil ausgebildetes Druckgefäß eingebracht wird.

Metall-Matrix-Verbundmaterialien (Metal Matrix Composites MMC) sind Werkstoffe, bei denen ein nichtmetallisches Verstärkungsmaterial und ein Metall in unterschiedlichen Mengenverhältnissen ineinander eingebettet vorliegen. Das Verstärkungsmaterial kann in Form von Teilchen, Fasern oder porösen Körpern mit Metall umgeben bzw. mit Metall infiltriert werden. Durch Auswahl der Art, Form, Menge und Porosität des Verstärkungsmaterials sowie der Art der Infiltrationsmetalle lassen sich die mechanischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften der entstehenden Werkstoffe den Anforderungen entsprechend variieren.

Eine bekannte Art von MMC-Werkstoffen entsteht durch Infiltration eines porösen Körpers aus Verstärkungsmaterial mit dem schmelzflüssigen Metall. Meist werden die gewünschten Gegenstände aus MMC-Material direkt in Gestalt der gewünschten Formkörper hergestellt.

Diese mit Metall zu versetzende Vorform ist nicht mit dem schmelzflüssigen Infiltrationsmetall benetzbar, sodaß nur durch Erschmelzung des Metalles allein ohne weiteren äußeren Einflüsse keine Infiltration möglich ist. Um das Metall in die Poren der Vorform einzubringen, gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- 1.) Druck auf das flüssige Metall aufbringen, was
 - 1.a) mechanisch mit Kolben oder
 - 1.b) mittels Gasdruck erfolgen kann oder

2.) die Benetzbarmarkt Metall-Vorform durch Verwendung von sog. Infiltrationsverbesserern zu erhöhen und damit das Einsickern des Metalls in die Poren der Vorform zu ermöglichen (spontane Infiltration). Die vorliegende Erfindung bezieht sich wie eingangs bereits angerührt auf Möglichkeit 1b.

Die US-PS-5 267 601 und die US-PS-5 150 747 beziehen sich auf spontane Infiltration, also auf die unter Punkt 2 angeführte Möglichkeit zur Durchführung einer Infiltration. Bei einem solchen Verfahren passiert das Durchsetzen der porösen Vorform mit geschmolzenem Infiltrationsmetall ohne jede Vakuum- oder Überdruckbehandlung. Erreichbar ist dies durch schon erwähnte Infiltrationsverbesserer, welche dem Metall, der Vorform oder der Atmosphäre entweder direkt oder in Form eines Infiltrationsverbesserer-Vorläufers zugesetzt werden. Der Vorläufer reagiert beim Erhitzen mit der Atmosphäre und wird dadurch zum Infiltrationsverbesserer. Die Infiltrationsverbesserer erhöhen die Benetzbarmarkt des flüssigen Infiltrationsmetalls mit dem Vorformmaterial und ermöglichen damit das Eindringen des Metalls in die Poren der Vorform; für dieses Eindringen sind keinerlei äußeren Beeinflussungen mehr notwendig.

Die GB-A-2 150 867 beschreibt einen nach Möglichkeit la ablaufenden Infiltrationsprozeß, ein sog. "squeeze casting"-Verfahren. Hier befindet sich eine fasrige Vorform im Hohlraum einer Gußform, es wird flüssiges Metall in diese Form eingebracht und mithilfe eines Kolbens in die Vorform hineingepreßt. Auch gemäß der EP-A1-301 550 wird mittels eines Druckstempels, der hydraulisch angetrieben ist, das Metall in die Poren der Vorform eingepreßt.

In diese Richtung geht auch die WO 86/03997: Hier wird ein Metallmatrix-Verbundstoff beschrieben, der aus einem in eine Leichtmetall-Matrix durch Druckformen implantierten Material besteht. Dabei wird unter Druckformen ein Verfahren verstanden, bei dem ein flüssiges Metall in einen ersten Teil einer Form eingebracht wird, die Form unter Druck geschlossen wird und dabei das flüssige Metall durch den Formdeckel so verdrängt wird, daß es einen Hohlraum der Form ohne Lufteinfluß füllt. Das Metall wird während des Erhärts unter Druck gehalten, um Schrumpfhohlräume zu vermeiden.

Die DE-A1-41 17 886 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines Metallmaterials auf Aluminiumbasis, worin nur ein bestimmter Anteil örtlich mit einer kurzen Faserverstärkung aus Fasern von Keramikmaterial wie SiC, Si₃N₄ und Al₂O₃ verstärkt ist. Dabei wird die Oberfläche der Verbundmatrix geschliffen, um die Oxidschichte zu beseitigen und aufzurauen, die Matrix in einer Form angeordnet und geschmolzenes Metall auf Aluminiumbasis in die Form gegossen, wobei das Gießen unter Druck erfolgt. Auch hier wird der Druck mit Hilfe eines Kolbens aufgebracht.

Die DE-A1-39 03 310 betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines mit einem porösen Einlegeteil zu versehenden Formgußteiles, bei dem das Einlegeteil in einer Gießform mit Schmelze umgossen wird, wobei ausschließlich der poröse Einlegeteil evakuiert wird.

In der Regel werden aber die Vorformen zuerst unter Vakuum gesetzt und anschließend bei erhöhter Temperatur unter Druckbeaufschlagung mit dem schmelzflüssigen Metall infiltriert. Ein solches Verfahren ist beispielsweise durch die US-PS-4 802 524 bekanntgeworden: Es werden hier als Vorformmaterial Fasern in ein Stahlrohr eingebracht, danach wird an einem Ende dieses Rohres Sauerstoff eingeblasen und am anderen Ende Gas abgesaugt. Sobald nur mehr reiner Sauerstoff aus dem Rohr austritt, wird dieses einerends verschlossen und in flüssiges Matrixmetall eingetaucht. Im Raum zwischen den Fasern und der nach der Sauerstoff-Spülung verschlossenen Stirnwand des Rohres ist ein Magnesium-Stückchen angeordnet. Nach dem Eintauchen des Rohres in das Matrixmetall wird zehn Minuten zugewartet, wobei das Magnesium den Sauerstoff bindet. Danach wird mittels Argon Gasdruck auf die Oberfläche des Aluminium aufgebracht und während 5min konstant gehalten.

Das Eindringen des Matrix-Metalls in die Vorform wird durch den Unterdruck, der sich in Folge der Reaktion des in der Vorform enthaltenen Sauerstoff mit dem Magnesiumstückchen bildet, unterstützt. Das bedeutet, daß dem anschließend aufgebrachten Gasdruck ein vom erläuterten Unterdruck bewirkter Infiltrationsschritt vorgeht, sodaß die Infiltration gemäß der US-PS-4 802 524 nicht ausschließlich durch Gasdruck erfolgt. Des Weiteren wird das Rohr unmittelbar nach der Infiltration mit dem Matrixmetall aus demselben heraus genommen, wodurch das in die Fasern infiltrierte Matrixmetall ohne Druckbeaufschlagung erstarrten gelassen wird.

Es ist üblich, ein Herstellungsverfahren, bei dem die Vorform zunächst evakuiert und dann unter Gasdruckbeaufschlagung mit Matrixmetall infiltriert wird, in einer einzigen Vorrichtung durchzuführen, welche Vorgangsweise beispielsweise in der EP-A1-513 685 realisiert ist. Die Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens muß demzufolge sowohl vakuumdicht als auch druckfest sein. Der angelegte Unterdruck bei der Vakuumvorbehandlung liegt in der Regel in der Größenordnung von 0,1 mbar bis 0,01 mbar. Der Gasdruck während des Infiltrationsvorgangs kann mehr als 100 MPa betragen. Die Druckdifferenz, der die Vorrichtung somit ausgesetzt ist, ist daher beträchtlich. Zusätzlich dazu muß der Behälter mit einer Heizeinrichtung versehen sein, um die notwendigen Schmelztemperaturen der eingesetzten Metalle zu erreichen.

Derartige multifunktionelle Vorrichtungen sind aufwendig in der Herstellung, sehr kostenintensiv und störungsanfällig. Die Herstellungskosten von MMC-Materialien sind daher außerordentlich hoch.

Überraschenderweise hat sich nun herausgestellt und dies ist Teil der vorliegenden Erfindung, daß das Verstärkungsmaterial in Gestalt einer Vorform ohne vorherige Vakuumbehandlung durch Gasdruckbeaufschlagung allein mit dem aufgeschmolzenen Metall infiltriert werden kann.

Diese Vorgangsweise wird beispielsweise in der JP-A-60 191654 beschrieben. Hier geht es um einen zumindest teilweise durch ein MMC-Material gebildeten Kolben für einen Verbrennungsmotor sowie um ein Verfahren zu seiner Herstellung. Bei diesem Verfahren sind Druckgefäß, Tiegel und Vorformhalter ein und derselbe Teil bzw. dasselbe Werkzeug und bilden eine Einheit, in weiterer Folge als Druck-Tiegel bezeichnet. Es wird eine Vorform aus porösem Material in den Druck-Tiegel eingebracht, auf welche Vorform anschließend geschmolzenes Metall gegossen, danach das Behältnis verschlossen und mit Gasdruck beaufschlagt wird, wodurch das flüssige Metall zum Eindringen in die Vorform gebracht wird. Abschließend wird die infiltrierte Vorform geschmiedet und dadurch zu einem Kolben geformt. Vor dem Infiltrationsvorgang ist in den Poren des Verstärkungsmaterials der Vorform Luft eingeschlossen. Diese Luft wird beim Infiltrieren von Metall umgeben. Nachdem gemäß der JP-A-60 191654 die Vorform vom Druck-Tiegel selbst gehalten wird und damit die Druck-Tiegelwandung an der Vorform anliegt, kann die eingeschlossene Luft nirgendwohin entweichen und bleibt damit zwangsläufig im hergestellten MMC-Bauteil enthalten. Solche Lufteinschlüsse vermindern jedoch die Festigkeit eines MMC-Bauteiles.

Die US-PS-3 853 635 betrifft genauso wie die JP-A-60 191654 ein Verfahren zur Herstellung eines MMC-Bauteiles. Im Gegensatz zur JP-A-60 191654 wird hier allerdings die Vorform von einem porösen Vorformhalter gehalten. Dieser Vorformhalter wird in einen Tiegel eingebracht, welcher Tiegel seinerseits in ein Druckgefäß gestellt wird. Nachdem schmelzflüssiges Metall um

den Vorformhalter gegossen wurde, wird Gasdruck auf diese Metallschmelze aufgebracht, um das Einsickern des Metalles in die Poren der Vorform zu ermöglichen. In Spalte 5, Zeilen 46-52 der US-PS-3 853 635 wird aber ausdrücklich festgehalten, daß der Gasüberdruck für eine möglichst kurze Zeitspanne, die gerade solang ist, daß die Infiltration abgeschlossen werden kann, aufrecht erhalten wird. Sofort nach Abschluß der Infiltration wird der Gasdruck wieder abgebaut. Die Abkühlung, d.h. das Erstarren des in den Poren der Vorform befindlichen Metalles erfolgt daher bei Normaldruck.

Sobald der Gasdruck weggenommen wird, stellt sich das Problem der mangelnden Benetzbareit des Vorformmaterials mit dem flüssigen Metall und führt dazu, daß das Metall zumindest teilweise aus den Vorformporen wieder herausquillt. Dies kann zu Fehlerstellen, insbesondere im Bereich der Oberfläche des MMC-Bauteiles führen, welche beispielsweise durch bereichsweise Abarbeiten der Bauteiloberfläche behoben werden müssen.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung von Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen der eingangs angeführten Art anzugeben, bei welchem derartige Fehlstellen zuverlässig vermieden werden.

Erfnungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß die infiltrierte Vorform unter Beibehaltung des Gasdruckes erstarrt gelassen wird.

Das Problem, daß das Matrixmetall während der Abkühlphase aus den Poren der Vorform wieder heraus quillt, ist damit wirksam vermieden. Damit ist auch die Bildung von Fehlstellen ausgeschlossen.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird zur Aufnahme der Vorform ein Halter aus porösem Material verwendet, der während der Druckbehandlung das durch die Metallinfiltration aus der Vorform verdrängte Gas aufnimmt.

Zu diesem Zweck können Halter aus Graphit oder poröser Keramik verwendet werden. Es ist jedoch bekannt, daß derartige Vorformhalter meist nur einmal verwendbar sind.

Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung kann zur Aufnahme der Vorform ein Halter aus Stahl oder aus gasdichter Keramik, wie z.B. Aluminiumtitannat verwendet werden, wobei der Halter gegebenenfalls Teile aus einem porösen Material aufweist. Der besondere Vorteil derartiger Vorformhalter liegt in ihrer Wiederverwendbarkeit. Stahl und Aluminiumtitannat sind nicht porös und das ursprünglich in der Vorform enthaltene Gas bleibt in derselben erhalten. Es läßt sich jedoch mit Hilfe der Gleichung für das ideale Gasgesetz ($pV = nRT$) errechnen, daß das bei dieser Verfahrensvariante in der Vorform eingeschlossene Gasvolumen wegen der bei dem Verfahren eingesetzten Drücke und Temperaturen im Endprodukt nicht einmal 0,5 % des Gesamtvolumens ausmacht. Es ist also eher vernachlässigbar, insbesondere da die hergestellten Werkstücke kaum ausmacht. Es ist also eher vernachlässigbar, insbesondere da die hergestellten Werkstücke kaum ausmacht. Für den Fall, daß dennoch z.B. wegen erhöhter Homogenität ein sehr geringes Gasvolumen gewünscht wird, können Halterteile aus porösem Material zur Gasaufnahme vorgesehen werden.

Im Detail kann diese Berechnung anhand folgender beispielhafter Werte wiedergegeben werden:

- Vorformgröße: 2,54 x 2,54 cm, Dicke 0,1 cm;
- Porosität der Vorform: 30 Vol.-%;
- Infiltrationstemperatur: 700°C
- Infiltrationsdruck: 70 bar;

Unter Einsatz der oben genannten Parameter erhält man nach Beendigung des Verfahrens für das als Beispiel angegebene Plättchen, dessen Volumen etwa 645 mm³ beträgt, ein Restgasvolumen von 2,81 mm³. Dieses entspricht etwa 0,43 % des Plättchenvolumens oder einem Würfel mit einer Kantenlänge von 1,41 mm bzw. einer Kugel mit einem Durchmesser von 1,75 mm.

Die bei den Infiltrationsvorgängen eingesetzten Drücke liegen allgemein im Bereich von 60 bar bis 140 bar, vorzugsweise von 60 bar bis 80 bar. Der oben genannte Druck von etwa 70 bar ist besonders bevorzugt.

Je nach dem verwendeten Metall wird die Infiltrationstemperatur gewählt. Diese beträgt z.B. bei Aluminium etwa 800°C.

Zur Durchführung des erfungsgemäß Verfahrens wird bevorzugt eine Vorform mit einer Porosität von 10 Vol.-% bis 30 Vol.-% verwendet. In speziellen Fällen wird eine Vorform mit einer Porosität von 20 Vol.-% bis 25 Vol.-% eingesetzt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform dieses Verfahrens kann unter Spülung mit einem Inertgas, vorzugsweise mit einem Edelgas, gearbeitet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich insbesondere für Vorformen, die im wesentlichen aus Siliciumcarbid-, Aluminiumnitrid-, Siliciumnitrid-Teilchen, Borcarbid oder aus Kohlenstoff bzw. Keramikfasern bestehen.

Als Infiltrationsmetall wird bevorzugt ein Metall aus der Gruppe Aluminium, Magnesium, Kupfer, Silicium, Eisen oder Legierungen derselben verwendet.

Anhand der beigeschlossenen Zeichnung wird nun das erfindungsgemäße Verfahren sowie die erfindungsgemäßen Vorrichtungen näher erläutert:

Fig. 1a zeigt eine komplette Vorrichtung 1, die zur Herstellung der MMC-Formkörper verwendet wird. Im Inneren der Vorrichtung 1 befindet sich ein Vorformhalter 2 zur Aufnahme der Vorform 3. Die Vorform 3 besteht aus dem in gewünschter Weise angeordneten Verstärkungsmaterial. Die Gesamtheit dieser Anordnung ist in einem Tiegel 6 untergebracht. Die Vorrichtung 1 ist mit Hilfe des Deckels 7 verschließbar, sodaß Druck aus einer Druckquelle 10 an die Vorrichtung angelegt werden kann. Auf den Rändern des Vorformhalters 2 liegt ein Block oder Speiser 4 aus aufzuschmelzendem Metall. Unter dem Einfluß der Heizung 5 wird das Metall aufgeschmolzen und unter Druck in die Vorform eingepreßt; sodann wird die Heizung 5 abgeschaltet und das Metall unter Druck erstarrten gelassen.

Fig. 1b stellt eine alternative Ausgestaltung der Vorrichtung gemäß Fig. 1a, bei welcher die Heizung weggelassen ist. Hier wird das an anderer Stelle erschmolzene Metall 11 auf die Vorform 3 gegossen, sodann der Deckel 7 geschlossen, das Innere der Vorrichtung mit Druck vermittels der Druckquelle 10 beaufschlagt, hiedurch das flüssige Metall in die Vorform gepreßt, und das Metall erstarrten gelassen.

Fig. 2a stellt ein Detail innerhalb der Vorrichtung 1 von Fig. 1 in einer anderen Ausführungsform dar. Für äquivalente Teile wurden die gleichen Bezugszeichen gewählt.

In einem Vorformhalter 2 ist wieder die Vorform 3 eingesetzt. Auf dem Vorformhalter 2 liegt eine Abdeckung 8 mit Bohrungen 9 auf, auf welchem seinerseits der Speiser 4 aufgelegt ist. Der Tiegel 6 umgibt den Vorformhalter 2 mit seinen Ein- und Aufsätzen. Unter der Wirkung der Heizung 5 schmilzt das Speisemetall, gelangt durch die Öffnungen 9 auf die Vorform 3 und infiltriert das Verstärkungsmaterial unter Druckbeaufschlagung durch die Druckquelle 10 bei geschlossenem Deckel 7.

Fig. 2b zeigt eine alternative Ausführungsform zu Fig. 2a, bei welcher ohne Heizung gearbeitet wird. Das an anderer Stelle erschmolzene Metall 11 wird auf die Abdeckung gegossen, sodann der Deckel 7 geschlossen und unter Druckbeaufschlagung vermittels der Druckquelle 10 wird das flüssige Metall in die Vorform gepreßt und das Metall erstarrten gelassen.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Herstellung von Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen, bei dem ein Verstärkungsmaterial in Gestalt einer Vorform (3) mit schmelzflüssigem Metall ohne vorherige Vakuumbehandlung der Vorform (3) ausschließlich durch Gasdruckbeaufschlagung infiltriert wird, wobei die Vorform (3) in einen Vorformhalter (2), dieser Vorformhalter (2) in einen als separater Bauteil ausgebildeten Tiegel (6) und dieser Tiegel (6) in ein als separater Bauteil ausgebildetes Druckgefäß (1) eingebracht wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die infiltrierte Vorform (3) unter Beibehaltung des Gasdruckes erstarrten gelassen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Aufnahme der Vorform ein Halter aus porösem Material verwendet wird, der während der Druckbehandlung das durch die Metallinfiltration aus der Vorform verdrängte Gas aufnimmt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Aufnahme der Vorform ein Halter aus Graphit oder poröser Keramik verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Aufnahme der Vorform ein Halter aus Stahl oder aus gasdichter Keramik, wie z.B. Aluminiumtitannat verwendet wird, wobei der Halter gegebenenfalls Teile aus einem porösen Material aufweist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem Druck von 60 bar bis 140 bar, vorzugsweise von 60 bar bis 80 bar, insbesondere bei etwa 70 bar, infiltriert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Vorform mit einer Porosität von 10 Vol.-% bis 30 Vol.-%, vorzugsweise von etwa 20 Vol.-% bis 25 Vol.-%, verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß unter Spülung mit einem Inertgas, vorzugsweise mit einem Edelgas, gearbeitet wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Vorform im wesentlichen aus Siliciumcarbid, Aluminiumnitrid, Siliciumnitrid, Borcarbid-Teilchen oder aus Kohlenstoff- bzw. Keramikfasem verwendet wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Infiltrationsmetall ein Metall aus der Gruppe Aluminium, Magnesium, Kupfer, Silicium, Eisen oder Legierungen derselben verwendet wird.
20. 10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei in einem mit einer Druckquelle (10) beaufschlagbaren Druckgefäß (1) eine in einem Vorformhalter (2) angeordnete, mit flüssigem Metall (11) beaufschlagbare Vorform (3) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß in dem Druckgefäß (1) eine Heizung (5) angeordnet ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf der Vorform (2) eine Abdeckung (8) angeordnet ist.

HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1a

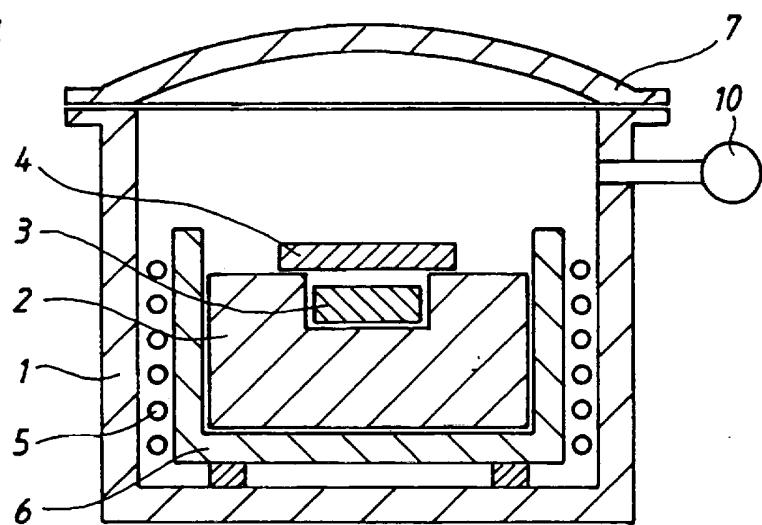


Fig. 1b

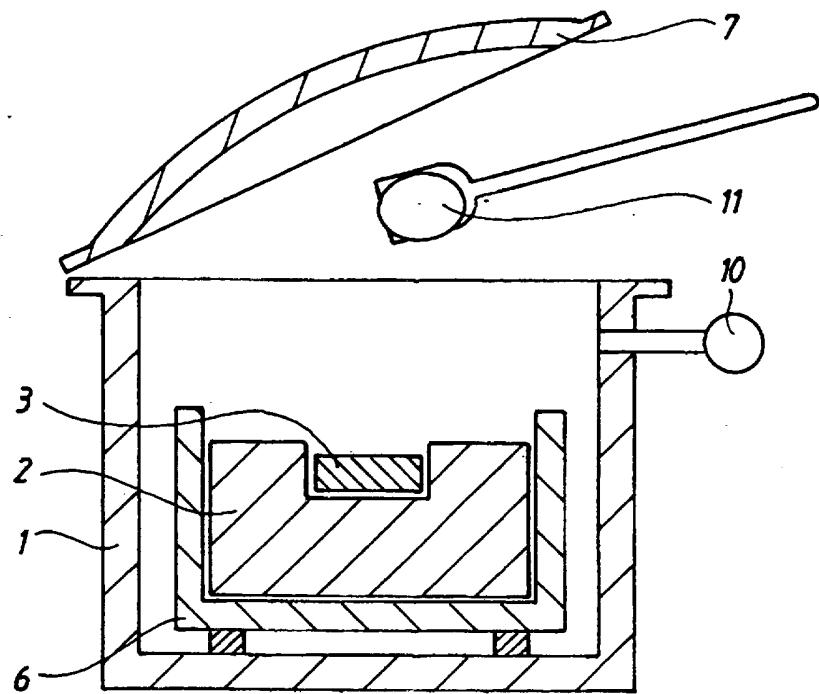


Fig. 2a

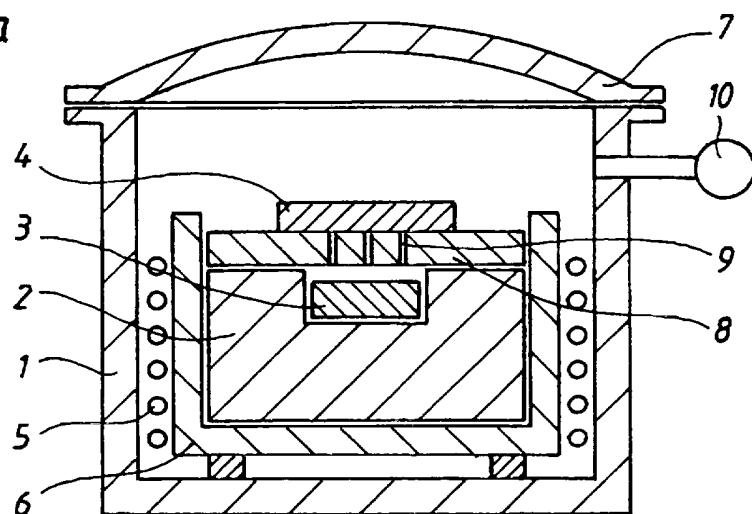


Fig. 2b

