



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 604 756 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
14.12.2005 Patentblatt 2005/50

(51) Int Cl.7: **B22D 19/14, B22C 9/04**

(21) Anmeldenummer: **05011668.0**

(22) Anmeldetag: **31.05.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR LV MK YU

(71) Anmelder: **Girlich, Dieter, Dr.**
01309 Dresden (DE)

(72) Erfinder: **Girlich, Dieter, Dr.**
01309 Dresden (DE)

(30) Priorität: **02.06.2004 DE 102004026959**

(74) Vertreter: **Kaufmann, Sigfrid**
Loschwitz Strasse 28
01309 Dresden (DE)

(54) **Verfahren zur Herstellung metallischer Gitterstrukturen**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Gitterstrukturen, insbesondere aus Metall. Ziel der Erfindung ist es, die Herstellung von Gitterstrukturen so zu vereinfachen, daß eine automatisierte und kostengünstige Fertigung derselben möglich ist. Dabei steht die Aufgabe, ein Verfahren zu finden, was die zeitreduzierte Herstellung metallischer Gitterstrukturen mit geringem Materialeinsatz und daraus folgend eine Serienfertigung ermöglicht. Erfindungsgemäß wird dies insbesondere dadurch erreicht, daß die Stege einer retikulierten Struktur, bevorzugt einer PU-Schaumstruktur, durch ein- oder mehrmaliges Beschichten mittels eines organischen Materials oder verschiedener, dann bevorzugt zweier organischer Materialien, verdickt werden. Damit ist, gepaart mit den anderen Schritten des Verfahrens, möglich, Gitterstrukturen mit herausragenden mechanischen Kennwerten im hohen Maße reproduzierbar herzustellen. Als Vorstruktur kann erfindungsgemäß auch eine Aufschüttung von granularen mineralischen Stoffen oder granularen organischen Stoffen mit einem mineralischen Überzug, in Form von miteinander verklebten Pellets, verwendet sein.

EP 1 604 756 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung metallischer Gitterstrukturen in Form offenerporigen Schaums.

[0002] Retikuläre Strukturen aus Metall und anderen Materialien besitzen aufgrund ihrer Eigenschaften ein breites Anwendungsgebiet. Beispielsweise können diese Strukturen als Bauteile mit niedrigem Gewicht, Akkumulatorenplatten, elektrochemische Anoden und Kathoden, Filter und Mischer für Fluide, Katalysator, Gasabsorber, Wärmeüberträger und für zahlreiche weitere Anwendungen verwendet werden.

[0003] Verfahren zur Herstellung retikulärer metallischer Strukturen sind seit längerem bekannt, wobei diese Verfahren in der Regel einer industriellen Anwendung aufgrund schwieriger Handhabbarkeit der eingesetzten Materialien, komplizierter Verfahrensschritte und hohem Zeitaufwand nicht genügen.

[0004] Beispielsweise offenbart das US-Patent 3.616.841 ein Verfahren zur Herstellung eines Schaummaterials mit einer vorbestimmten retikulierten Struktur. Dieses Verfahren umfaßt die Herstellung eines selbsttragenden retikulierten Polyurethanschaums; die Herstellung einer feuerfesten Masse, indem die Hohlräume des Polyurethanschaums mit einer wässrigen Formstoffsuspension gefüllt werden und diese Suspension abbindet; das Erhitzen der feuerfesten Masse auf eine Temperatur von etwa 120 °C (250 °F) über einen Zeitraum von zwei Stunden zum Trocknen; das Erzeugen von Hohlräumen in der feuerfesten Formmasse, indem die Temperatur der feuerfesten Formmasse auf 650 bis 850°C erhöht wird, um den gesamten Schaum zu verflüchtigen; das Einbringen einer geschmolzenen Substanz, die aus Metallen oder Metallegierungen besteht, in die feuerfeste Formmasse, wobei die Menge der Substanz ausreicht, um die Hohlräume zu füllen, die zuvor von der retikulierten Struktur eingenommen wurden; und das Verfestigen der geschmolzenen Substanz, in dem die Temperatur so verringert wird, daß sie unter dem Schmelzpunkt der Substanz liegt; und das Auswaschen des Materials, das die feuerfeste Formmasse bildet.

[0005] Dieses Verfahren erscheint jedoch für eine industrielle Anwendung, insbesondere für eine automatisierte Herstellung retikulärer metallischer Strukturen aus folgenden Gründen nicht sonderlich gut geeignet: Die Schaumstruktur bestimmt die technischen Parameter des Endproduktes, so daß die statistische Schwankungsbreite möglichst gering sein muß, um das Erreichen der technischen Parameter des Endproduktes zu gewährleisten. Überdies ist es notwendig, um die verzweigten Hohlräume der feuerfesten Formmasse mit einem geschmolzenen Metall zu füllen, die Formmasse auf Temperaturen zu erwärmen, die über der Schmelztemperatur der verwendeten Substanz liegen. Das führt dazu, daß das Metall nur sehr langsam erstarrt, wodurch das erstarrte Metall eine grobkörnige Gefüge-

struktur erhält, die eine geringere Festigkeit der Struktur zur Folge hat. Zur Lösung dieses Problems schlägt US 3.616.841 verschiedene Kühlmethoden wie beispielsweise Besprühen mit Wasser oder Luft vor. Der Kühleffekt wird jedoch erheblich abgeschwächt, da die Formmasse den Wärmefluß behindert. Auch die Herstellung massiver Metallbereiche gemeinsam mit der Gitterstruktur ist mit dem Problem der sehr langsam erfolgenden Abkühlung verbunden. Die angegebenen Verfahrensschritte lassen eine gelenkte Erstarrung des Metalls, um eine lunkerfreie und feinkörnige Gefügestruktur zu erhalten, kaum bzw. nicht zu. Überdies führt die langsam verlaufende Erstarrung des Metalls zu langen Prozeßzeiten, die einer automatisierten Fertigung ebenfalls entgegenstehen.

[0006] DE 199 39 155 offenbart ein Verfahren zur Herstellung metallischer Gitterstrukturen, bei dem eine retikulierte Schaum-Vorstruktur in einen aufklappbaren Behälter eingesetzt wird, die Schaum-Vorstruktur mit einem feuerfesten Material infiltriert und das feuerfeste Material dann verfestigt wird. Anschließend wird das verfestigte feuerfeste Material aus dem aufklappbaren Behälter entnommen, die Schaum-Vorstruktur aus dem feuerfesten Material entfernt und der resultierende, vorgewärmte Körper in einen hitzebeständigen Behälter eingesetzt. Dieser Körper wird mit einer Metallschmelze infiltriert und nach dem Erstarren der Metallschmelze aus dem hitzebeständigen Behälter entnommen. Im Anschluß daran wird das feuerfeste Material aus dem Körper entfernt, wodurch im Ergebnis eine retikuläre Metallstruktur erhalten wird.

[0007] Vorteil dieses Verfahrens ist unter anderem, daß im Vergleich zu dem genannten US-Patent Nr. 3.616.841 ein Verkleben der Schaum-Vorstruktur mit dem Eingußsystem und dem Eingußtrichter nicht mehr nötig ist. Dadurch wird nicht nur der Material- und Zeitverbrauch bei der Herstellung der Gußform deutlich gesenkt, sondern auch eine automatisierte Herstellung von retikulären metallischen Strukturen möglich.

[0008] Auch wenn das in DE 199 39 155 offenbarte Verfahren eine deutliche Vereinfachung der Herstellung von retikulären metallischen Strukturen bietet, ist nicht zu übersehen, daß der Material- und Zeitaufwand noch immer vergleichsweise hoch ist, so daß zwar eine automatisierte Fertigung möglich, eine Serienfertigung derartiger Strukturen aber noch immer einem - im Vergleich zur Serienfertigung vergleichbarer Erzeugnisse - hohen Aufwand verbunden ist. Insbesondere die große Menge an Formstoff, die getrocknet, gebrannt und nicht in den Prozeß zurückgeführt werden kann, stellt einen nicht zu kompensierenden Kostenfaktor dar. Die isolierende Wirkung des Formstoffes erfordert lange Prozeßzeiten. Eine Produktion unter Marktbedingungen ist so nicht möglich.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es daher, die Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen. Es soll insbesondere ein Verfahren zur Herstellung metallischer Gitterstrukturen angegeben werden, das einen geringe-

ren Materialeinsatz und eine schnellere Fertigung derartiger Strukturen und daraus folgend eine Serienfertigung ermöglicht.

[0010] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen ergeben sich aus den Merkmalen der Ansprüche 2 bis 11.

[0011] Nach Maßgabe der Erfindung ist zunächst vorgesehen, daß durch flächiges oder separates thermisches Verpressen der Vorstruktur derart, daß sie von außen nach innen größer werdende Poren und damit einen gradierten Aufbau im Bereich der Verpressung aufweist, und für die Herstellung metallischer Gitterstrukturen zwar gleichfalls in grundsätzlich bekannter Weise eine retikulierte Vorstruktur, bevorzugt eine PU-Schaumstruktur, zu verwenden, aber deren Stege zuvor durch ein- oder mehrmaliges Beschichten, mittels eines oder mehrerer verschiedener organischer Materialien, zu verdicken. Überraschenderweise wurde nämlich gefunden, daß somit, gepaart mit den sonstigen erfindungsgemäßen Verfahrensschritten, das Einfließen des Metalls erleichtert wird. Gleichzeitig können so die mechanischen Eigenschaften der Struktur gezielt beeinflusst werden, wobei wesentlich ist, daß die Reproduzierbarkeit der Kennwerte gegenüber dem Stand der Technik nachhaltig verbessert ist.

[0012] Durch Änderung der Rezeptur und/oder der Prozeßführung wird die Dicke der Stege der PU-Schaumsstruktur den jeweiligen, vom Verwendungszweck der Metallgitterstruktur bestimmten Anforderungen angepaßt. Erfindungsgemäß ist das Beschichten der Stege der Vorstruktur mittels flüssigen und/oder festen Materialien vorgesehen, z. B. durch Eintauchen der Vorstruktur in flüssiges Wachs und anschließendem Beschichten mit Wachspulver (das eine andere Schmelztemperatur hat) oder einem Polymerpulver, etwa Polystyrol- oder Polyamidpulver, die auch einen geringen Anteil Kleber, bevorzugt 5 Vol.%, implizieren können. Namentlich der Einsatz von Pulver verhindert ein Verkleben der Struktur und sichert eine gleichmäßig dicke Schicht zumal sich keine Membranen (Zellhäute) zwischen den Stegen ausbilden.

[0013] Nachdem derart die Vorstruktur erzeugt wurde, wird sie für den Gießvorgang in einem Formstoff fixiert.

[0014] Hierbei wird die Vorstruktur paßgenau in einen Rahmen eingelegt und mit Formstoff so ausgegossen, daß sie nicht vollständig umhüllt ist, sondern vielmehr eine Berandung von 2 bis 5 mm frei bleibt. Die verbleibenden Hohlräume werden mit Sand gefüllt und verpreßt. Die Umhüllung der Vorstruktur erfolgt mit einem Keramikschlicker, wobei die Umhüllung gegebenenfalls wiederholt wird, um eine stabile Schicht zu erzeugen. Das eingebettete Formteil kann zuvor bei Bedarf nachgearbeitet werden, so z. B. durch Fräsen und Bohren, um Noppen oder andere geometrische Gebilde aus festem Material in der Struktur zu erzeugen, oder durch Durchbohrungen, um mittels Kernstifte Rohre in die Struktur einzugießen. Die Einarbeitung von durchgän-

gigen, aber auch nichtdurchgängigen Bohrungen, Rillen oder dergleichen in die eingegossene Vorstruktur erfolgt erfindungsgemäß in einem Abstand von wenigstens zwei Poren zueinander. Dieser Verfahrensschritt hat zur Folge, daß die Dichte des Werkstoffes und daraus folgend seine Stabilität anwendungsspezifisch erhöht werden kann; gleichzeitig ergibt sich eine nachhaltig verbesserte Wärmeleitfähigkeit. Die Durchmesser der Aussparungen werden entsprechend den Festigkeitsanforderungen an den Werkstoff optimiert.

[0015] Ein wesentlicher weiterer Verfahrensschritt ist die thermische Entfernung der Vorstruktur durch Ausschmelzen und/oder Ausbrennen, hierfür wird der verfestigte Struktur-Keramikverbund aus dem Rahmen herausgenommen und in eine Küvette, deren Boden mit losem feuerfesten Material, vorzugsweise Gießereisand, gefüllt ist, eingebracht. Alternativ ist es auch möglich das Formteil ohne Küvette mittels Infrarot oder Mikrowellen zu trocknen und auszubrennen.

[0016] Die Küvette umfaßt eine Schablone aus Formsand/Keramik für die Gießkanäle; zudem besitzt sie eine Isolierung, um ein vorzeitiges Auskühlen des Formteiles zu verhindern. Vorzugsweise besteht die Küvette aus einem gepreßten Formsand/Keramikverbund, wobei der Formsand recycelbar und zudem die Verwendung von Formstoff auf das notwendige Volumen reduziert ist.

[0017] Diesen Verfahrensschritten schließt sich das Gießen und Gutformen an. Die Küvette mit dem Formteil wird hierzu in einen druckfesten Behälter eingebracht, mit flüssigem Metall gefüllt, der Behälter geschlossen und evakuiert, um das Formteil und die Schmelze zu entgasen. Durch Belüften des Behälters wird die Schmelze in das Formteil gepreßt. Der Schmelztiegel befindet sich im Behälter, die Küvette ist durch ein Rohr mit der Schmelze verbunden.

[0018] Nach dem Gießen und dem Erstarren der äußersten Metallschicht wird das Formteil aus der Küvette entnommen. Die Erstarrung kann gerichtet über die angegossenen Metallteile erfolgen.

[0019] Grundsätzlich kann die Vorstruktur auch durch Schüttung granularer mineralischer Stoffe oder granularer organischer Stoffe mit einem mineralischen Überzug erzeugt werden. Durch solche granularen Strukturen, bevorzugt in kugelförmigen Pellets, ist es möglich, die Porengrößen der Gitterstruktur wesentlich zu erweitern. Während mit PU-Schaumstrukturen üblicherweise Porengrößen von max. 5 ppi, das entspricht einen mittleren Porendurchmesser von 8 bis 10 mm, erzeugt werden können, lassen sich hiermit Porengrößen im Bereich von 1 bis 3 cm realisieren. Hierzu sind die Pellets großflächig miteinander zu verkleben, damit sicher ist, daß als Gießkanal nur die Hohlräume zwischen den Pellets genutzt werden. Eine Beschichtung der damit geschaffenen Vorstruktur ist nicht vorgesehen und auch nicht notwendig, da der gewünschte keramische Überzug bereits vorhanden ist. Die sonstigen erfindungsgemäßen Verfahrensschritte werden beibehalten. Die so

erzeugte Struktur bietet sich als vielfältiger Leichtbauwerkstoff an.

[0020] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Dabei zeigen

Fig. 1 in schematischer Darstellung einen Ausschnitt der beschriebenen retikulierten Vorstruktur, ausgeführt als PU-Schaumstruktur 1 (Vorstruktur) mit den Stegen 2;

Fig. 2 die PU-Schaumstruktur 1 mit der Beschichtung 3, die sich bevorzugt aus zwei Schichten, nämlich einer Schicht, die aus flüssigem Wachs erzeugt ist, und einer Polymerschicht, zusammensetzt;

Fig. 3 die mit dem Formstoff 4 (Keramikschricker) umhüllte PU-Schaumstruktur 1, die so in beschriebener Weise bearbeitet werden kann;

Fig. 4 in Draufsicht die mögliche Form (kreisförmig, oval) von Pellets 7, die aus granularen mineralischen Stoffen oder granularen organischen Stoffen mit einem mineralischen Überzug bestehen, und durch Schüttung und Verklebung zusammengefügt sind, wobei sich die so erzeugte Vorstruktur gegenüber der PU-Schaumstruktur 1 durch wesentlich vergrößerte Poren auszeichnet;

Fig. 5 den gebrannten Formstoff/Formteil 5 und die Poren 6, die durch das thermische Entfernen der Stege entstanden sind;

Fig. 6 das Formteil 5, das in die Küvette 8 eingebracht ist;

Fig. 7 die Küvette 8, die ihrerseits in den druckfesten Behälter 9 eingebracht ist.

Liste der verwendeten Bezugszeichen

[0021]

- | | | |
|---|---------------------------------|--|
| 1 | PU-Schaumstruktur (Vorstruktur) | |
| 2 | Steg | |
| 3 | Beschichtung | |
| 4 | Formstoff | |
| 5 | gebrannter Formstoff/Formteil | |
| 6 | Pore | |
| 7 | Pellet | |
| 8 | Küvette | |
| 9 | Behälter | |

Patentansprüche

- Verfahren zur Herstellung metallischer Gitterstrukturen unter Verwendung einer retikulierten Struktur, bevorzugt einer retikulierten Schaumstruktur, bei

dem die durch solche Strukturen gebildeten Gießkanäle vor dem Einfüllen des Metalls mittels organischer Materialien stabilisiert werden, **dadurch gekennzeichnet, daß** es die Schritte

(a) Flächiges oder separates thermisches Verpressen der Vorstruktur derart, daß sie von außen nach innen größer werdende Poren und damit einen gradierten Aufbau im Bereich der Verpressung aufweist;

(b) Verdicken der Stege der retikulierten Struktur durch ein- oder mehrmaliges Beschichten mittels eines organischen Materials oder verschiedener, dann bevorzugt zweier organischer Materialien;

(c) Einlegen der beschichteten Struktur in einen formschlüssigen, oben offenen Behälter und Ausgießen der Struktur mit einer feuerfesten Masse;

(d) Einarbeiten von durchgängigen und/oder nicht durchgängigen Bohrungen, Rillen oder dergleichen in die eingegossene Vorstruktur mit einem Abstand von wenigstens zwei Poren zueinander;

(e) Entnahme des verfestigten Struktur/Keramik-Verbundes aus den Behälter und Einbringen in eine Küvette, deren Boden mit losem feuerfesten Material gefüllt ist;

(f) Entfernen der Vorstruktur durch thermische Umsetzung in einen Ofen;

(g) Einbringen der Küvette in einen druckfesten Behälter;

(h) Aufsetzen einer Gießereischablone aus Formsand oder Keramik so auf die Küvette und die obere Fläche des Keramikkörpers, daß die Ränder des Keramikkörpers als Gießkanal frei bleiben und die Gießschablone eine Isolierung zur Küvette bildet, um ein vorzeitiges Erstarren des einzugießenden Metalls zu vermeiden;

(i) Einfüllen des Metalls/Schließen des druckfesten Behälters;

(j) Evakuieren des druckfesten Behälters, um Metall und Platzhalter zu entgasen; und

(k) Belüften des Behälters, Küvette entnehmen und abkühlen lassen;

umfaßt.

2. Verfahren zur Herstellung metallischer Gitterstrukturen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das zur Beschichtung der Stege dienende organische Material flüssiges Wachs ist. 5
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das zur Beschichtung der Stege dienende organische Material ein Wachspulver ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das zur Beschichtung der Stege dienende organische Material Polystyrol-Pulver ist. 10
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das zur Beschichtung der Stege dienende organische Material Polyamid-Pulver ist. 15
6. Verfahren nach Anspruch 1, 4 und 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Polystyrol/Polyamid einen geringen, bevorzugt 5 %-igen, Anteil Kleber impliziert. 20
7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei mehrfacher Beschichtung der Stege der retikulierten Struktur die einzelnen Beschichtungen bei unterschiedlichen Temperaturen im Bereich von 40 bis 80 °C aufgebracht werden. 25
8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Mehrfachbeschichtung der Stege mit zwei Wachsmodifikationen, die unterschiedliche Schmelztemperaturen aufweisen, durchgeführt wird. 30
9. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Mehrfachbeschichtung der Stege mit einer Wachs- und einer Pulverschicht erzeugt wird. 35
10. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das lose feuerfeste Material, gemäß Verfahrensschritt (c), Gießereisand ist. 40
11. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Vorstruktur aufgeschüttete granulare mineralische Stoffe oder granulare organische Stoffe mit mineralischem Überzug verwendet werden. 45

50

55

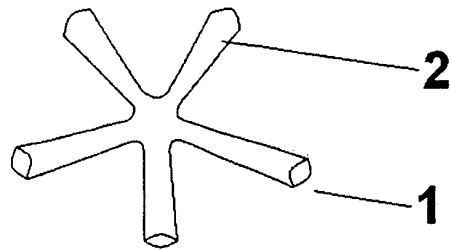


Fig. 1

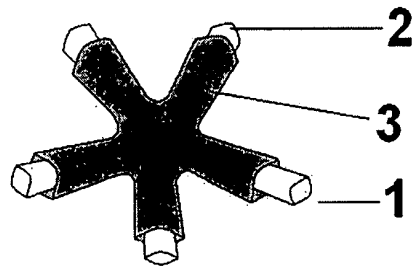


Fig. 2

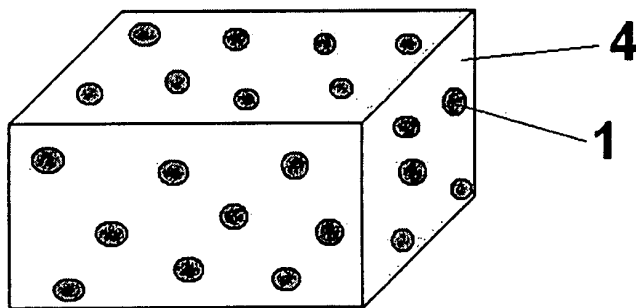


Fig. 3

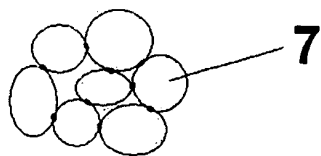


Fig. 4

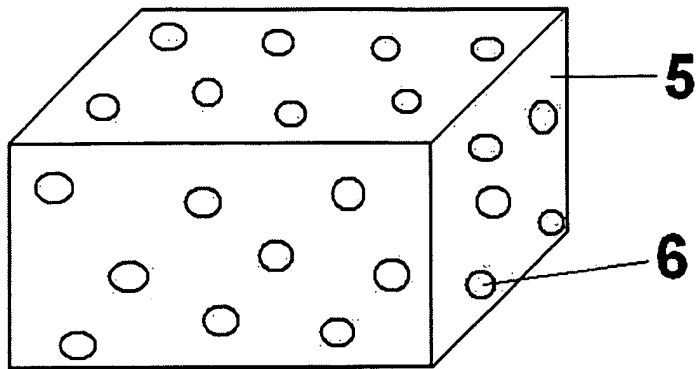


Fig. 5

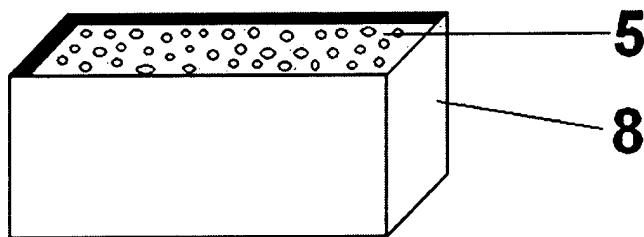


Fig. 6

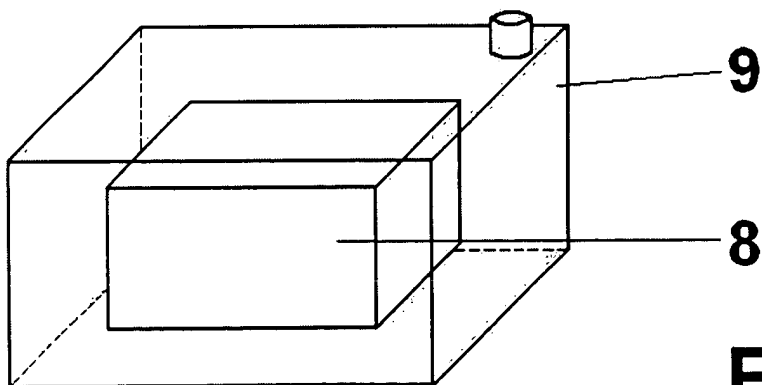


Fig. 7