



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 198 13 176 C 2

51 Int. Cl.⁷:
C 22 C 1/02

21 Aktenzeichen: 198 13 176.3-24
22 Anmeldetag: 25. 3. 1998
43 Offenlegungstag: 30. 9. 1999
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 24. 8. 2000

DE 198 13 176 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

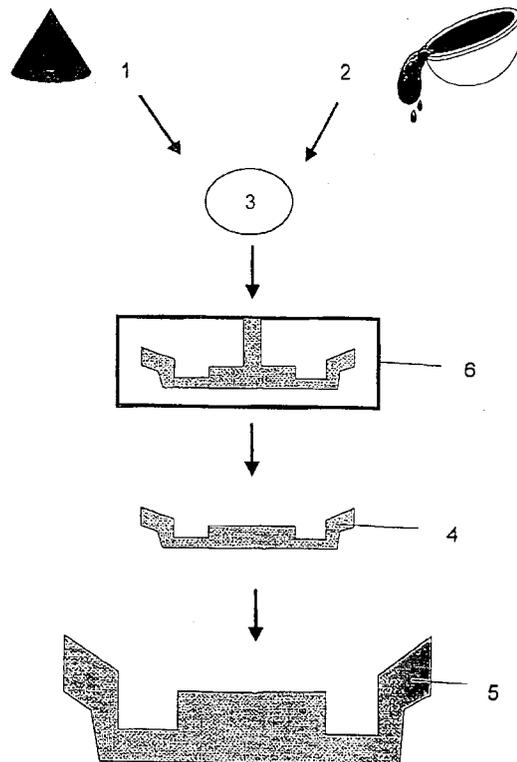
72 Erfinder:
Banhart, John, Dr.-Ing., 28201 Bremen, DE;
Baumeister, Joachim, Dipl.-Phys., 28777 Bremen,
DE; Melzer, Armin, Dr.-Ing., 28865 Lilienthal, DE;
Weber, Markus, Dr.-Ing., 28757 Bremen, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

- DE 44 26 627 C2
- DE 44 24 157 C2
- DE 41 24 591 C1
- DE 41 01 630 C2
- DE 40 18 360 C1
- US 49 73 358
- EP 07 18 413 A1
- EP 02 10 803 A1
- WO 91 01 387 A1

54 Verfahren zur Herstellung von Verbundwerkstoffbauteilen

57 Verfahren zur Herstellung von Verbundwerkstoffbauteilen, dadurch gekennzeichnet, dass einem Formwerkzeug eine Metallschmelze und ein pulverförmiges Material zugeführt werden und dass die Dauer des Herstellungsprozesses, d. h. des Misch-, Formgebungs- und Erstarrungsvorganges 5 bis 15 Sekunden beträgt.



DE 198 13 176 C 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Verbundwerkstoffbauteilen.

Verfahren nach denen ein Verbundwerkstoff, bestehend aus einer Metallmatrix mit darin dispergierten Pulverteilchen desselben oder eines anderen Materials, hergestellt wird, sind bekannt. Dazu gehört das Einrühren von Pulverpartikel in Metallschmelzen, das Sprühkompaktieren, das Infiltrieren und das Verpressen von Pulvermischungen.

Beim Einrühren von Pulverpartikeln in Metallschmelzen werden vorwiegend keramische Partikel wie z. B. Aluminiumoxid oder Siliciumcarbid verwendet, die sich in der Metallschmelze z. B. Aluminium auch nach längerer Zeit nicht auflösen und durch den Rührvorgang homogen verteilt werden. Die Weiterverarbeitung erfolgt anschließend durch unterschiedliche Gießverfahren.

Beim Sprühkompaktieren wird eine flüssige Schmelze verdüst und in den Sprühstrahl können zur Herstellung von Verbundwerkstoffen zusätzlich Pulverpartikel injiziert werden. Es entsteht ein Verbundwerkstoff relativ hoher Dichte, der durch weitere Arbeitsschritte wie z. B. Strangpressen zum Bauteil weiterverarbeitet werden kann. Durch die hohe Prozeßgeschwindigkeit können auch nichtkeramische Pulverpartikel wie z. B. Silicium injiziert werden. Es müssen dann weitere Fertigungsschritte bis hin zum Bauteil abgeschlossen werden.

Beim Infiltrieren werden in der Regel vorverdichtete Pulver-, Faser- oder Geflechtstrukturen mit einer Metallschmelze infiltriert. Der Infiltrationsprozeß kann bei Überdruck als auch bei Unterdruck erfolgen.

Das Verpressen von Pulvermischungen erfolgt u. a. durch axiales Pressen oder Strangpressen. Da beim Pressen keine schmelzflüssige Phase auftritt, können mit diesem Verfahren leicht Verbundwerkstoffe bestehend aus unterschiedlichsten Pulverkomponenten hergestellt werden. Je nach gewähltem Werkstoff müssen die Presslinge anschließend noch gesintert werden. Dieses Verfahren wird eingesetzt u. a. zur Herstellung von Hartmetallen, verschleiß- und hochfesten Verbundwerkstoffen, Gleitlagerwerkstoffen aber auch zur Herstellung des Ausgangsmaterials zum Schäumen von Metallen.

Verfahren, die zur Herstellung von Metallschäumen eingesetzt werden, sind in folgenden Schriften beschrieben:

In WO 91/01387 und US 4973358 ist der Ausgangspunkt zur Herstellung von Aluminiumschaum eine partikelverstärkte Metall-Matrix-Verbund-Aluminiumschmelze (z. B. SiC oder Al_2O_3) in die mit Hilfe eines rotierenden Impellers ein Gas eingeblasen wird. Der sich auf der Schmelze bildende Schaum kann mit Hilfe einer Fördervorrichtung von der Schmelze abgezogen werden. Es entsteht ein plattenförmiges Material. Es können nur plattenförmige Schaumteile hergestellt werden.

In EPO 210 803 A1 ist der Ausgangspunkt zur Herstellung von Aluminiumschaum eine Aluminiumschmelze, in die unter Rühren zunächst viskositätserhöhende Zusätze (z. B. Na, Ca) und anschließend ein Treibmittel eingebracht wird. In einer Kokille expandiert die Metallschmelze durch die Wirkung des Treibmittels und es entsteht bei Abkühlung ein Schaumblock. Es können nach diesem Verfahren lediglich einfache Strukturbauteile hergestellt werden.

Die Patente DE 40 18 360; DE 41 01 630; DE 41 24 591; DE 44 26 627 und DE 44 24 157 beschreiben Verfahren, bei denen handelsübliche Metallpulver mit einem ebenfalls pulverförmigen Treibmittel vermischt werden. Anschließend wird diese Pulvermischung zu einem festen, wenig porösen aufschäumbaren Halbzeug verarbeitet. Hierbei können unterschiedliche Kompaktierungsverfahren wie z. B. Strang-

pressen oder Heißpressen eingesetzt werden. Dieses Verfahren unterscheidet sich von der hier beschriebenen Erfindung durch die andere Herstellungsweise des aufschäumbaren Halbzeuges. Nachteilig gegenüber dem neuen Verfahren ist, daß das Halbzeug durch den Verdichtungsprozeß eine Zeiligkeit erfahren kann und daß häufig weitere mechanische Bearbeitungsprozesse am Halbzeug notwendig sind, um komplexere Schaumbauteile herstellen zu können. Gerade in der Massenfertigung ist hier ein Nachteil zu sehen. Des weiteren können Sandwichbauteile nur mit weiteren Verfahrensschritten wie Walzen und Plattieren hergestellt werden. 3-dimensionale Strukturen sind häufig nur durch weitere Umformschritte am schäumbaren Halbzeug herstellbar.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde Verbundwerkstoffbauteile herzustellen, bei denen in einer Metallmatrix pulverförmige Partikel vorliegen.

Diese Aufgabe ist durch die im Anspruch 1 angegebene Erfindung gelöst. Danach wird einem Formwerkzeug eine Metallschmelze und ein pulverförmiges Material zugeführt, wobei die Geschwindigkeit des Herstellungsprozesses, d. h. die Geschwindigkeit des gesamten Misch-Formgebungs- und Erstarrungsvorganges so hoch ist, dass im Falle des treibmittelhaltigen Pulvers keine Zersetzung des Treibmittels erfolgt und im Falle der pulverförmigen Komponenten der Herstellungsprozess 5 bis 15 sec. dauert. Dies hat zur Folge, dass die Pulverpartikel des zugegebenen pulverförmigen Materials weitgehend unter Beibehaltung ihrer ursprünglichen Struktur und Eigenschaften in der Metallmatrix eingelagert werden. Nach diesem Verfahren wird also ein Bauteil erhalten, bei dem Pulverpartikel, gleich welcher Art, ohne wesentliche Veränderung ihrer Struktur und Eigenschaften vorliegen. Der gesamte Herstellungsprozeß verläuft so schnell, daß das Bauteil geformt wird und anschließend erstarrt, ohne daß die Pulverpartikel Zeit haben, ihre Struktur oder Eigenschaften wesentlich zu ändern. Das pulverförmige Material kann ein Metallpulver sein. In diesem Fall, z. B. bei Zugabe von Aluminium, Magnesium oder Zinkpulver zu einer Aluminiumschmelze schmelzen die zugegebenen Metallpulver während des Herstellungsvorganges des Bauteils, in Abhängigkeit von der gewählten Pulvergröße, nur an d. h. sie lösen sich nicht vollständig auf und nach dem Erstarren des Bauteils liegen in einer Aluminiummatrix fest eingelagerte Partikel vor. Bei Zugabe von Silicium-Pulver-Partikeln zu einer Aluminiumschmelze, z. B. schmilzt das Silicium während des Herstellungsvorganges des Bauteiles nicht und nach dem Erstarren des Bauteiles liegen in einer Aluminiummatrix fein verteilte Silicium-Partikel vor. Derselbe Sachverhalt trifft zu, wenn das pulverförmige Material aus einem Treibmittelpulver besteht. Nach der Einmischung des Treibmittelpulvers in die Metallschmelze wird der Herstellungsvorgang des Bauteiles so schnell durchgeführt, daß die Treibmittelpulverpartikel sich nicht zersetzen können und in dem Bauteil gasdicht eingeschlossen bleiben. Dadurch werden Bauteile hergestellt, die in einem weiteren Schritt des Aufschäumens durch Erwärmen auf eine Temperatur, die höher ist als die Zersetzungstemperatur des in der Metallmatrix eingeschlossenen Treibmittels, aufgeschäumt werden und dadurch ihre endgültige Form erreichen. Werden in eine Metallschmelze pulverförmige Keramikpartikel eingebracht, so ist die Struktur des fertigen Verbundwerkstoffbauteiles so, daß in einer Metallmatrix Keramik-Pulverpartikel vorliegen. Eine Kombination von unterschiedlichsten Pulvermischungen wie z. B. eine Mischung aus Keramikpulvern, Metallpulvern, Silicium, Kohlenstoff und Treibmittelpulver ist je nach Anwendungsfall einsetzbar.

Besonders geeignet zur Herstellung solcher Verbundwerkstoffbauteile ist das Druckgußverfahren unter Pulver-

zufuhr. Dieses Verfahren ist besonders günstig, da die Einbringung der Pulverpartikel in die Metallschmelze direkt im Angußkanal durch Vermischung der Komponenten erfolgen kann und durch den Einspritzvorgang in das Formwerkzeug die Vermischung besonders effektiv ist. Das Einbringen des pulverförmigen Materials und die Herstellung des Bauteiles im Formwerkzeug geschieht demnach in einem Schritt, wodurch der Herstellungsvorgang sehr schnell abgeschlossen werden kann. Der Vorgang wird so schnell abgeschlossen, daß die in die Schmelze eingebrachten Partikel sich nicht oder nur teilweise zersetzen (Treibmittelpulver), schmelzen oder auflösen (Metallpulver, Keramikpulver). Nach diesem Verfahren können direkt 3-dimensionale Verbundbauteile hergestellt werden, die z. B. im Falle der Zugabe des Treibmittelpulvers in einem späteren Schritt des Aufschäumens lediglich durch Erwärmung auf ihre endgültige Form gebracht werden können. Bei Bauteilen, die kein Treibmittel enthalten, erhält in diesem Verfahren hergestelltes Verbundwerkstoffbauteil seine endgültige Form.

Bei aufschäumbaren Verbundwerkstoffbauteilen können diese verschiedene Einlegeteile aufweisen wie z. B. aus Stahl oder Aluminium. Wenn der Schmelzpunkt des Einlegeteiles höher als die Schäumtemperatur ist, bleibt das Einlegeteil beim anschließenden Schäumprozeß erhalten und kann konstruktiv zur Verbesserung der Eigenschaften des Schaumes dienen. Auch verschiedene Befestigungselemente und andere Konstruktionselemente können auf diese Weise in ein Metallschaumteil integriert werden. Auch die Herstellung von 2- und 3-dimensional geformten Sandwichstrukturen sind nach diesem Verfahren realisierbar, da die hergestellten Bauteile eine 3-dimensionale Struktur aufweisen (Bild 3). Für die Herstellung der aufschäumbaren Verbundwerkstoffbauteile sind auch weitere Verfahren wie Walz-, Draht-, Band- oder Stranggießverfahren geeignet. Das Walzgießverfahren ist in Bild 6 dargestellt.

Zur Herstellung von Bauteilen nach dem beschriebenen Verfahren sind als Matrixlegierung grundsätzlich alle Metalle und deren Metalllegierungen geeignet, u. a. Aluminium, Magnesium, Titan, Eisen, Nickel, Lithium, Mangan, Kupfer, Zink, Silber, Gold und Blei. Es können grundsätzlich alle pulverförmigen Stoffe als Pulvermaterial eingesetzt werden, in Abhängigkeit von den Anforderungen, die an das fertige Bauteil gestellt werden. Als Treibmittel können alle Stoffe eingesetzt werden, vorzugsweise gasabspaltende Treibmittel wie z. B. Hydride, Carbonate, Hydrate, pulverisierte organische Substanzen, Stickstoffverbindungen (z. B. Nitride), Hydroxide, Hydrogencarbonate oder Mischungen reduzierender Stoffe mit Oxiden wie z. B. $\text{SiO}_2 + \text{C}$.

Der Mischvorgang mit dem pulverförmigen Material kann im flüssigen bzw. teilflüssigen Zustand der Metallschmelze stattfinden. Die Mischzeit und die Erstarrungszeit der Schmelze müssen der Zersetzungsgeschwindigkeit des Treibmittels bzw. der Schmelzgeschwindigkeit der zugegebenen Pulverpartikel (z. B. Metallpulver) angepaßt werden. Die Korngröße der zugeführten Pulverpartikel ist ebenfalls ein wichtiger Verfahrensparameter. Während der Misch- und Erstarrungszeit der Schmelze werden die Pulverpartikel von Schmelze umgeben, verteilt und eingelagert. Die Zersetzungstemperatur des Treibmittels bzw. die Schmelztemperatur des zugegebenen metallischen Pulvers kann hierbei auch deutlich unter dem Schmelzpunkt der gewählten Metalllegierung liegen, sofern der Misch- und Erstarrungsprozeß mit ausreichender Geschwindigkeit abläuft. Nach der Erstarrung des so hergestellten Bauteiles entsteht ein Verbundwerkstoff aus Metall bzw. Metalllegierung, in der die pulverförmigen Teilchen eingeschlossen vorliegen. Es entsteht ein gasdichter Gußkörper, was im Falle des Einsatzes eines Treibmittels von wesentlicher Bedeutung für den an-

schließenden Aufschäumprozeß ist.

Die Vermischung von Metallschmelze und pulverförmigem Material kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Die Schmelze kann entweder vor dem Gießprozeß mit dem pulverförmigen Material vermischt werden oder beim Gießprozeß mit dem Pulver vermischt werden. Auch eine Vermischung direkt in einer Gießform ist möglich. Wesentlich bei dem Einbringen des pulverförmigen Materials in die Metallschmelze ist die homogene Durchmischung und Verteilung des Treibmittels in der Metallschmelze. Eine gute Verteilung ist z. B. dadurch erzielbar, daß das pulverförmige Material als Pulverschüttung in den Gießkanal, im Anguß einer Druckform oder in der Druckgußform eingebracht wird (Bild 1). Abhängig von der gewünschten Form des Verbundwerkstoffbauteiles kann die in den Gießkanal oder Gießform eintretende Schmelze so geführt werden, daß das pulverförmige Material vollständig von der Schmelze aufgenommen und in derselben verteilt wird. Bei Verwendung speziell konstruierter Druckgußformen können durch die Verwendung von Formnestern gleich mehrere Verbundwerkstoffbauteile in einem Gießvorgang hergestellt werden.

Zur Herstellung spezieller Legierungen beim Gießprozeß, zur Verbesserung des Schäumverhaltens des Halbzeuges und zur Erhöhung der Abkühlgeschwindigkeit können dem Treibmittel schon vor dem Gießprozeß noch weitere pulverförmige Komponenten zugemischt werden. Das sind z. B.

- Keramikpartikel (z. B. Oxide, Carbide, Silizide, Nitride)
- Metallpulver- und deren Legierungen
 - artgleich oder artverwandt z. B. Al zu AlSi7
 - artfremd z. B. Ca, Na, Mg, Zn, C, Si, Mn, Ni, Sn, Fe, Li zu Al
 - Silizium, Kohlenstoff (Grafit)

Auch Agglomerate und Agglomeratgemische aus Treibmitteln und/oder der oben genannten Komponenten können bei diesem Verfahren eingesetzt werden. Die Verwendung umhüllter Treibmittel z. B. mit Nickel oder anderen Metallen ist für eine Verringerung der Zersetzungsgeschwindigkeit des Treibmittels in der Schmelze anwendbar. Ferner ist eine Kombination von verschiedenen Treibmitteln mit unterschiedlichen Zersetzungstemperaturen möglich.

Die Erfindung wird anhand der Ausführungsbeispiele näher erläutert:

Beispiel 1

Eine Druckgußanlage wurde eingesetzt. Eine handelsübliche Aluminiumlegierung (AlSi9Cu3) wurde als schmelzmetallurgische Komponente verwendet. Eine Menge von 0,3 Gew.-% an Treibmittel (Titanhydridpulver) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles wurde im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Die Kolbengeschwindigkeit mit der die Schmelze in die Druckgußform eingebracht wurde betrug 3 m/s und der Druck 100 MPa. Die gesamte Prozeßzeit betrug 11 Sekunden. Nach dem Druckgußprozeß lag das aufschäumbare Halbzeug vor. Das Gewicht des aufschäumbaren Halbzeugs betrug 1,5 kg. In einem Ofen wurden unterschiedliche Bereiche des Druckgußteiles (Halbzeuges) bei Temperaturen über der Liquidustemperatur der Ausgangslegierung aufgeschäumt. Das ganze Druckgußteil war aufschäumbar und die erzielte Dichte lag bei $0,7 \text{ g/cm}^3$. Die Schaumstruktur war sehr homogen und die Porengröße lag zwischen 1–2 mm.

Beispiel 2

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1 durchgeführt. Die Kolbengeschwindigkeit mit der die Schmelze in die Druckgußform eingebracht wurde, wurde auf 1,5 m/s gesenkt. Das Treibmittel lag sehr gleichmäßig im Halbzeug verteilt vor. Das ganze Druckgußteil war schäumbar und die Schäumbarkeit war vergleichbar mit Beispiel 1.

Beispiel 3

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1 durchgeführt, mit Ausnahme des Nachhaldedruckes, der im Druckgußwerkzeug auf 50 MPa gesenkt wurde. Das Treibmittel lag sehr gleichmäßig im Halbzeug verteilt vor. Das ganze Druckgußteil war schäumbar und die Schäumbarkeit war vergleichbar mit Beispiel 1.

Beispiel 4

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1. Diesmal wurde das Treibmittel (Titanhydrid) vor dem Gießprozeß mit reinem Aluminiumpulver im Verhältnis 1 : 1 vermischt. Diese Pulvermischung wurde wiederum im Angußkanal der Druckgußform plaziert, so daß der Anteil an Treibmittel im aufschäumbaren Halbzeug bei 0,3 Gew.-% lag. Das Treibmittel lag sehr gleichmäßig im Halbzeug verteilt vor. Das ganze Druckgußteil war schäumbar und die Schäumbarkeit war vergleichbar mit Beispiel 1.

Beispiel 5

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1 durchgeführt. Diesmal wurde das Treibmittel (Titanhydrid) vor dem Gießprozeß mit reinem Zinkpulver im Verhältnis 1 : 1 vermischt. Diese Pulvermischung wurde wiederum im Angußkanal der Druckgußform plaziert, so daß der Anteil an Treibmittel im aufschäumbaren Halbzeug bei 0,3 Gew.-% lag. Das Treibmittel lag sehr gleichmäßig im Halbzeug verteilt vor. Das ganze Druckgußteil war schäumbar und die Schäumbarkeit war vergleichbar mit Beispiel 1.

Beispiel 6

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1 durchgeführt. Diesmal wurde das Treibmittel (Titanhydrid) vor dem Gießprozeß mit reinem Siliciumpulver im Verhältnis 1 : 1 vermischt. Diese Pulvermischung wurde wiederum im Angußkanal der Druckgußform plaziert, so daß der Anteil an Treibmittel im aufschäumbaren Halbzeug bei 0,3 Gew.-% lag. Das Treibmittel lag sehr gleichmäßig im Halbzeug verteilt vor. Das ganze Druckgußteil war schäumbar und die Schäumbarkeit war vergleichbar mit Beispiel 1.

Beispiel 7

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1 durchgeführt. Diesmal wurde das Treibmittel (Titanhydrid) vor dem Gießprozeß mit Aluminiumoxidpulver (Al_2O_3) im Verhältnis 1 : 1 vermischt. Diese Pulvermischung wurde wiederum im Angußkanal der Druckgußform plaziert, so daß der Anteil an Treibmittel im aufschäumbaren Halbzeug bei 0,3 Gew.-% lag. Eine gute Verteilung von Aluminiumoxidpulver (Al_2O_3) und Treib-

mittel konnte in dem Druckgußbauteil erreicht werden. Das gesammte Druckgußteil war aufschäumbar und die Schäumbarkeit vergleichbar mit Beispiel 1.

Beispiel 8

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1 durchgeführt. Diesmal wurde das Treibmittel (Titanhydrid) deshalb vor dem Gießprozeß mit reinem Aluminiumpulver im Verhältnis 1 : 4 vermischt. Diese Pulvermischung wurde wiederum im Angußkanal der Druckgußform plaziert, so daß der Anteil an Treibmittel im aufschäumbaren Halbzeug bei 0,3 Gew.-% lag. Das Treibmittel lag sehr gleichmäßig im Halbzeug verteilt vor. Das ganze Druckgußteil war schäumbar und die Schäumbarkeit war vergleichbar mit Beispiel 1.

Beispiel 9

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1 durchgeführt. Diesmal wurde als Treibmittel (Zirkonhydrid) eingesetzt. Eine Menge von 0,3 Gew.-% an Treibmittel (Zirkonhydridpulver) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles wurde im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Das Treibmittel lag sehr gleichmäßig im Halbzeug verteilt vor. Das ganze Druckgußteil war schäumbar. Die beim Schäumprozeß erzielte Dichte des Aluminiumschaumes lag etwas höher als in Beispiel 1 und lag bei 1,0 g/cm³.

Beispiel 10

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1 durchgeführt. Als Treibmittel wurde Titanhydrid eingesetzt. Eine Menge von 0,6 Gew.-% an Treibmittel (Titanhydridpulver) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles wurde im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Das Treibmittel lag sehr gleichmäßig im Halbzeug verteilt vor. Das ganze Druckgußteil war schäumbar. Die beim Schäumprozeß erzielte Dichte des Aluminiumschaumes konnte im Vergleich zu Beispiel 1 gesenkt werden und lag bei 0,5 g/cm³.

Beispiel 11

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1 durchgeführt. Diesmal wurde das Treibmittel (Titanhydrid) deshalb vor dem Gießprozeß mit reinem Aluminiumpulver im Verhältnis 1 : 1 vermischt, wobei die verwendete Korngröße des Aluminiumpulvers zwischen 400 und 2000 µm lag. Diese Pulvermischung wurde wiederum im Angußkanal der Druckgußform plaziert, so daß der Anteil an Treibmittel im aufschäumbaren Halbzeug bei 0,3 Gew.-% lag. Das Treibmittel lag sehr gleichmäßig im Halbzeug verteilt vor. Das ganze Druckgußteil war schäumbar und die Schäumbarkeit war vergleichbar mit Beispiel 1.

Beispiel 12

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 1 durchgeführt. Diesmal wurde kein Treibmittel verwendet. Eine Menge von 5 Gew.-% Aluminiumoxidpulver (Al_2O_3) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles wurde im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Das Aluminiumoxidpulver lag gleichmäßig im Gußbauteil verteilt vor.

Beispiel 13

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 12 durchgeführt. Diesmal wurde eine Menge von 5 Gew.-% Siliciumcarbidpulver (SiC) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Das Siliciumcarbid lag gleichmäßig im Gußbauteil verteilt vor.

Beispiel 14

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 12 durchgeführt. Diesmal wurde eine Menge von 3 Gew.-% Graphitpulver (C) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Das Graphit lag gleichmäßig im Gußbauteil verteilt vor.

Beispiel 15

Dieses Verfahren wurde bei gleichen Verfahrensparametern wie in Beispiel 12 durchgeführt. Diesmal wurde eine Menge von 5 Gew.-% Siliciumpulver (Si) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Das Silicium lag gleichmäßig im Gußbauteil verteilt vor.

Beispiel 16

Dieser Versuch wurde bei gleichen Versuchsparametern wie in Beispiel 12 durchgeführt. Diesmal wurde eine Menge von 5 Gew.-% Aluminiumpulver (Al) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Die Korngröße des Aluminiumpulvers lag zwischen 50 und 200 µm. Das Aluminium lag teilweise noch unaufgelöst und gleichmäßig verteilt im Gußbauteil vor.

Beispiel 17

Dieser Versuch wurde bei gleichen Versuchsparametern wie in Beispiel 12 durchgeführt. Diesmal wurde eine Menge von 5 Gew.-% Magnesiumpulver (Mg) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Die Korngröße des Magnesiumpulvers lag zwischen 500 und 2000 µm. Das Magnesium lag teilweise noch unaufgelöst und gleichmäßig verteilt im Gußbauteil vor.

Beispiel 18

Dieser Versuch wurde bei gleichen Versuchsparametern wie in Beispiel 12 durchgeführt. Diesmal wurde eine Menge von 5 Gew.-% eines Gemisches aus 2,5 Gew.-% Siliciumpulver (Si) und 2,5% Aluminiumoxidpulver (Al₂O₃) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Beide Pulver lagen gleichmäßig im Gußbauteil verteilt vor.

Beispiel 19

Dieser Versuch wurde bei gleichen Versuchsparametern wie in Beispiel 12 durchgeführt. Diesmal wurde eine Menge von 5 Gew.-% eines Gemisches aus 2,5 Gew.-% Siliciumpulver (Si) und 2,5% Aluminiumpulver (Al) bezogen auf das Gesamtgewicht des Gußteiles im Angußkanal der Druckgußform plaziert. Das Silicium lag gleichmäßig im Gußbauteil verteilt vor. Das Aluminiumpulver zeigte leichte

Auflösungserscheinungen lag aber ansonsten ebenfalls sehr gleichmäßig verteilt vor.

Das Verfahren wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: Schematische Darstellung des Verfahrens zur Herstellung von Verbundwerkstoffbauteilen.

Fig. 2: Schematische Darstellung des Verfahrens zur Herstellung poröser Verbundwerkstoffbauteile.

Fig. 3: Schematische Darstellung eines weiteren Verfahrens zur Herstellung poröser Verbundwerkstoffbauteile.

Fig. 4: Schematische Darstellung eines weiteren Verfahrens zur Herstellung poröser Verbundwerkstoffbauteile.

Fig. 5: Schematische Darstellung eines weiteren Verfahrens zur Herstellung poröser Verbundwerkstoffbauteile.

Fig. 6: Schematische Darstellung des Verfahrens zur Herstellung von Verbundwerkstoffbauteilen.

Pulverpartikel **1** werden im Bereich **3** einer Druckgußanlage plaziert. Im einfachsten Fall kann das durch eine Pulverschüttung im Angußbereich **7** einer Druckgußform **6** erfolgen. Weitere Möglichkeiten die Pulverpartikel einzubringen sind u. a. die Verwendung einer speziellen Mischkammer in der Druckgußform, das Injizieren der Pulverpartikel kurz vor dem Druckgußprozeß z. B. durch Gas oder die direkte Einbringung der Pulverpartikel in die Metallschmelze unmittelbar vor dem Druckgußprozeß. Um nur in definierten Bereichen des Druckgußteiles eine Verbundwerkstoffstruktur herzustellen, können die Pulverpartikel auch innerhalb der Druckgußform z. B. Bereich **3** plaziert werden. In die so vorbereitete Anlage wird nun eine Metallschmelze **2** eingefüllt und von dem Kolben **8** in die Druckgußform gepreßt. Durch die hohe Verfahrensgeschwindigkeit werden die Pulverpartikel **1** von der Metallschmelze mitgerissen und in der Metallschmelze verteilt. In der Druckgußform **6** erstarrt nun diese Mischung als Verbundwerkstoffbauteil **4**.

In Ausgestaltung sieht die Erfindung vor, daß, wie in **Fig. 2** dargestellt, die Pulverpartikel **1** aus Treibmittel(n) oder Gemischen aus Treibmittel(n) mit weiteren Pulverpartikeln bestehen. Nach Durchführung des Druckgußprozesses liegt ein aufschäumbares Verbundwerkstoffbauteil **4** vor. Dieses aufschäumbare Verbundwerkstoffbauteil **4** kann durch Temperatureinwirkung zu einem fertigen porösen Metallschaumbauteil **5** aufgeschäumt werden. Der Schäumprozeß kann in speziellen Schäumformen erfolgen.

Eine andere Verfahrensvariante ist in **Fig. 3** dargestellt. Die Herstellung des schäumbaren Verbundwerkstoffbauteiles **4** erfolgt wie in **Fig. 1** und **Fig. 2** beschrieben. In diesem Fall werden in die Druckgußform Einlegeteile **9** eingelegt und anschließend wie in **Fig. 2** beschrieben mit einem schäumbaren Verbundwerkstoff umgossen. Nach Durchführung des Druckgußprozesses liegt ein aufschäumbares Verbundwerkstoffbauteil **4** vor. Dieses aufschäumbare Verbundwerkstoffbauteil kann durch Temperatureinwirkung zu einem fertigen porösen Metallschaumbauteil **5** aufgeschäumt werden. Der Schäumprozeß kann in speziellen Schäumformen erfolgen.

In **Fig. 4** und **5** sind weitere Ausgestaltungen des Verfahrens nach **Fig. 3** dargestellt.

In **Fig. 6** ist schematisch ein Walzgießverfahren zur Herstellung von Verbundwerkstoffbauteilen dargestellt. Pulverpartikel **1** werden im Bereich **3** mit einer Metallschmelze **2** vermischt. Im einfachsten Fall kann das durch Injektion der Pulverpartikel in die Metallschmelze **2** kurz vor dem Gießwalzprozeß z. B. durch Gas erfolgen. Die Pulverpartikel **1** bestehen in diesem Fall aus Treibmittel(n) oder Gemischen aus Treibmittel(n) mit weiteren Pulverpartikeln. Die Pulverpartikel **1** werden von der Metallschmelze **2** mitgerissen und verteilt. Zwischen den Gießwalzen **10** erstarrt nun diese Mischung mit hoher Abkühlgeschwindigkeit als Verbundwerk-

stoffbauteil **4**. Nach Durchführung des Druckgußprozesses liegt ein aufschäumbares Verbundwerkstoffbauteil **4** vor. Dieses aufschäumbare Verbundwerkstoffbauteil **4** kann durch Temperatureinwirkung zu einem fertigen porösen Metallschaumbauteil **5** aufgeschäumt werden. Der Schäumprozeß kann in speziellen Schäumformen erfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Verbundwerkstoffbauteilen, **dadurch gekennzeichnet**, dass einem Formwerkzeug eine Metallschmelze und ein pulverförmiges Material zugeführt werden und dass die Dauer des Herstellungsprozesses, d. h. des Misch-, Formgebungs- und Erstarrungsvorganges **5 bis 15** Sekunden beträgt.
2. Verfahren zur Herstellung von Verbundwerkstoffbauteilen, dadurch gekennzeichnet dass einem Formwerkzeug eine Metallschmelze und ein treibmittelhaltiges pulverförmiges Material zugeführt werden und dass die Geschwindigkeit des Herstellungsprozesses, d. h. des Misch-, Formgebungs- und Erstarrungsvorganges höher ist als die Zersetzungsgeschwindigkeit des Treibmittels.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das pulverförmige Material eine Mischung aus Treibmittel- und Keramikpulver ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das pulverförmige Material eine Mischung aus Treibmittel-, Metall- und Keramikpulver ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das pulverförmige Material Keramikpulver ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet dass das pulverförmige Material Metallpulver ist.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet dass das pulverförmige Material ein Mehr-Komponenten-Pulver ist und aus einem oder mehreren Metallpulvern und/oder einem oder mehreren Keramikpulvern besteht.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das pulverförmige Material Silicium- oder Kohlenstoffpulver ist.
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet dass das pulverförmige Material aus Kurzfasern besteht.
10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Metallpulver Aluminium-, Magnesium-, Silizium-, Lithium-, Mangan-, Eisen-, Titan-, Nickel-, Kupfer-, Zinn- oder Zinkpulver, ein Pulver aus deren Legierungen oder eine Mischung davon ist.
11. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Menge des Metallpulvers ein Vielfaches der Treibmittelpulvermenge ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulvermischung 80 Gew.-% Aluminiumpulver oder Aluminiumlegierungspulver und 20% Gew.-% Titan hydridpulver aufweist.
13. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 2 bis 4 oder 11 bis 12, dadurch gekennzeichnet dass die Treibmittelpulverpartikel durch ein anderes Material umhüllt sind.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Treibmittelpulverpartikel durch einen metallischen oder keramischen Werkstoff umhüllt sind.
15. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das pulverförmige Material in Bruchteilen einer Sekunde in die Me-

tallschmelze eingebracht wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Einbringen des pulverförmigen Materials in die Metallschmelze innerhalb 40 bis 100 millisece erfolgt.
17. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zum Zeitpunkt des Mischvorganges mit dem pulverförmigen Material die Metall-Matrix-Komponente flüssig oder teilflüssig ist.
18. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das pulverförmige Material vor der Zugabe in die Metallschmelze auf eine definierte Temperatur gebracht wird.
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das pulverförmige Material vor der Zugabe in die Metallschmelze Raumtemperatur hat.
20. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren Druckgußverfahren ist.
21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren Vakuumdruckgußverfahren ist.
22. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Einmischung des pulverförmigen Materials in die Metallschmelze kurz vor dem Druckgußvorgang geschieht.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Druck in der Füllphase 10 bis 20 MPa und der Nachhaldedruck im Werkzeug 50 bis 150 MPa beträgt.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Kolbengeschwindigkeit im Druckgußwerkzeug 1 bis 4 m pro Sekunde beträgt.
25. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ein Walzgieß-, Bandgieß-, Drahtgieß- oder Stranggießverfahren ist.
26. Verbundwerkstoffbauteil, hergestellt im Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einer Metallmatrix Pulverpartikel eines anderen oder desselben Materials feinverteilt vorliegen.
27. Aufschäumbares Verbundwerkstoffbauteil, hergestellt im Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4 und 10 bis 26.
28. Aufschäumbares Verbundwerkstoffbauteil nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass es eine Stahl-, Nickel-, Cobalt-, Kupfer-, Titan- oder Aluminiumarmierung aufweist.
29. Aufschäumbares Verbundwerkstoffbauteil nach Anspruch 27 oder 28, dadurch gekennzeichnet dass es bei Temperaturen im Bereich der Liquidustemperatur der Matrixlegierung aufgeschäumt wird und dass das dadurch hergestellte Bauteil seine endgültige Form erhält.
30. Verwendung des Druckgußverfahrens mit Pulverzufuhr zur Herstellung von Metall-Matrix-Verbundwerkstoffbauteilen.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

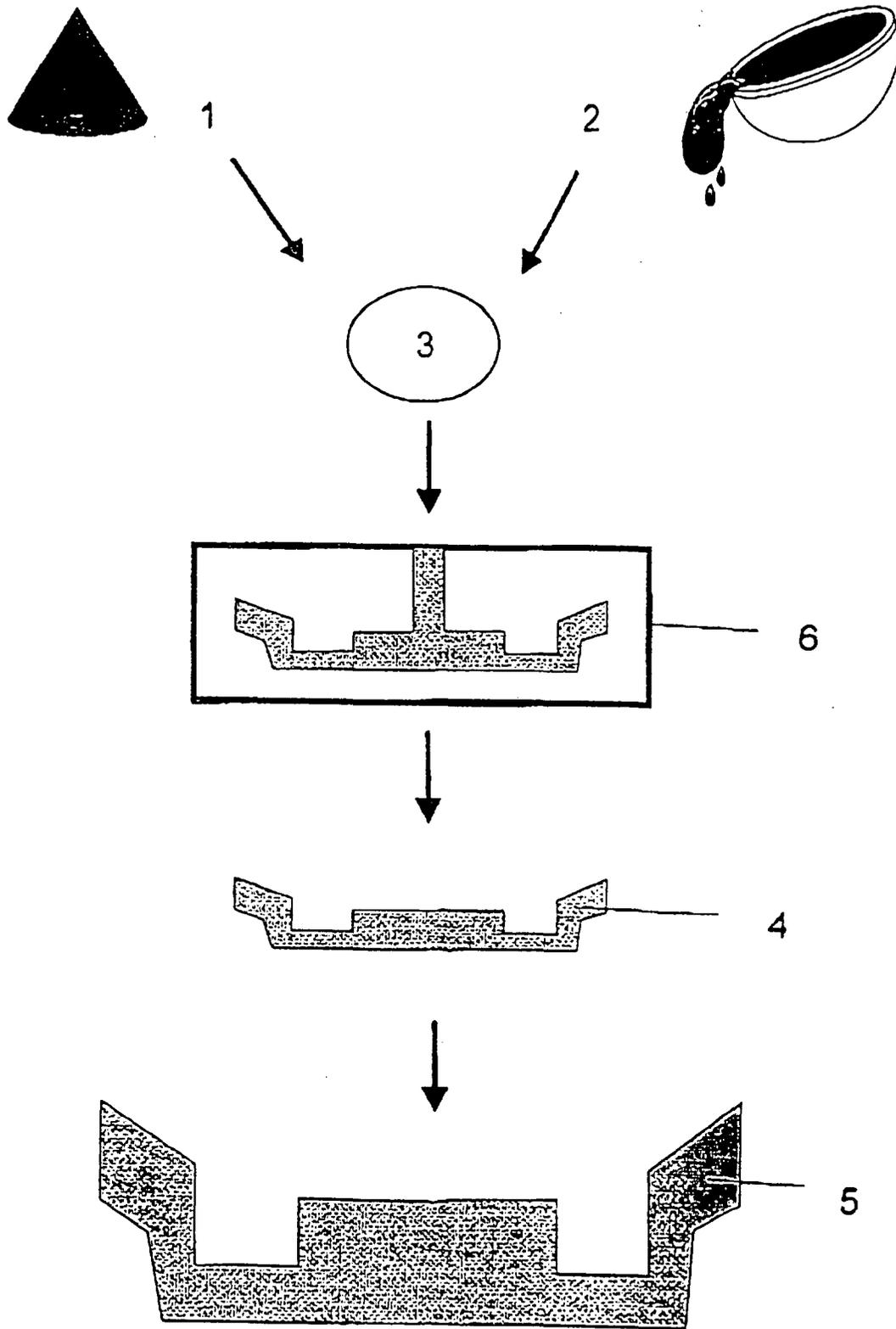


Fig. 2

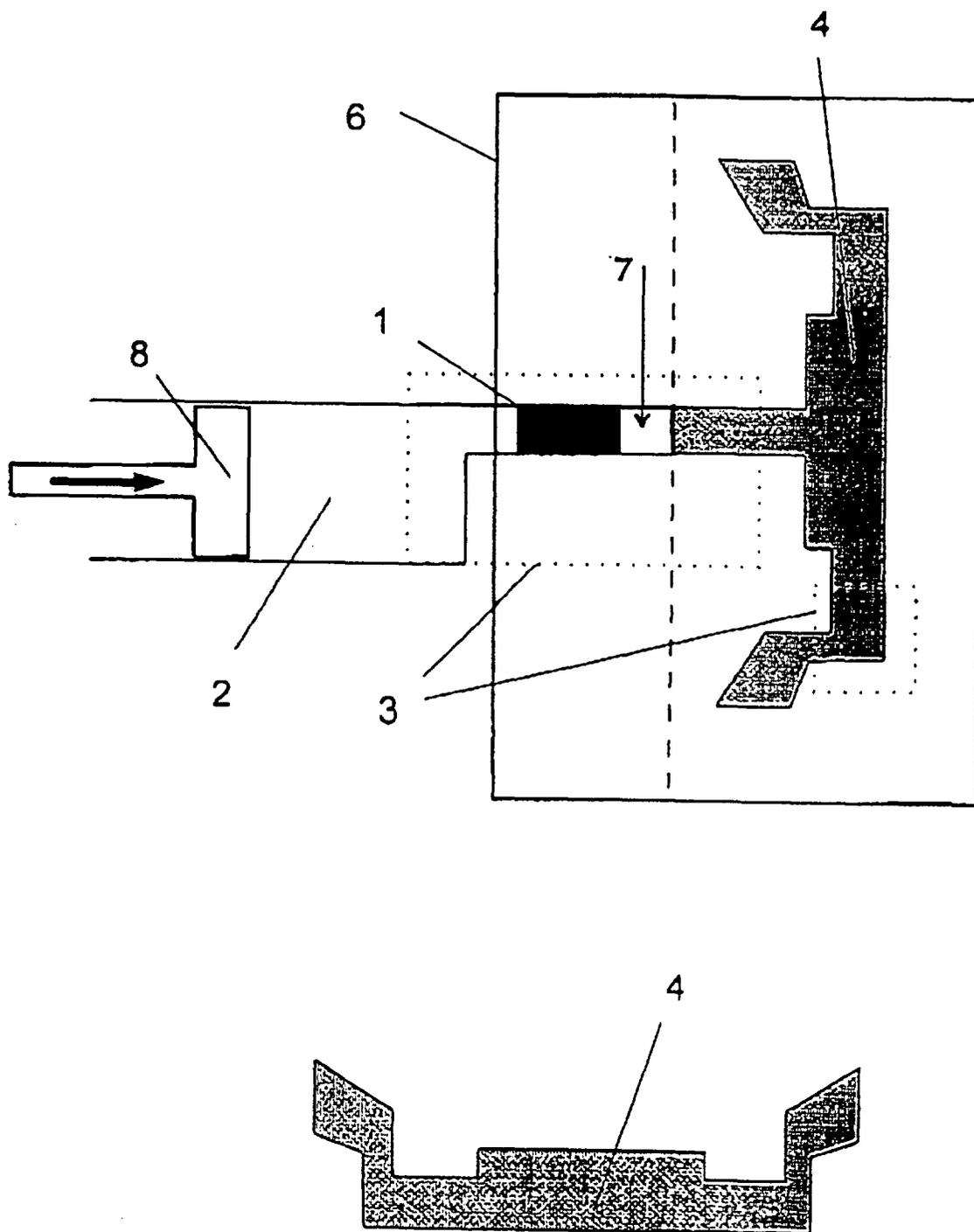


Fig. 1

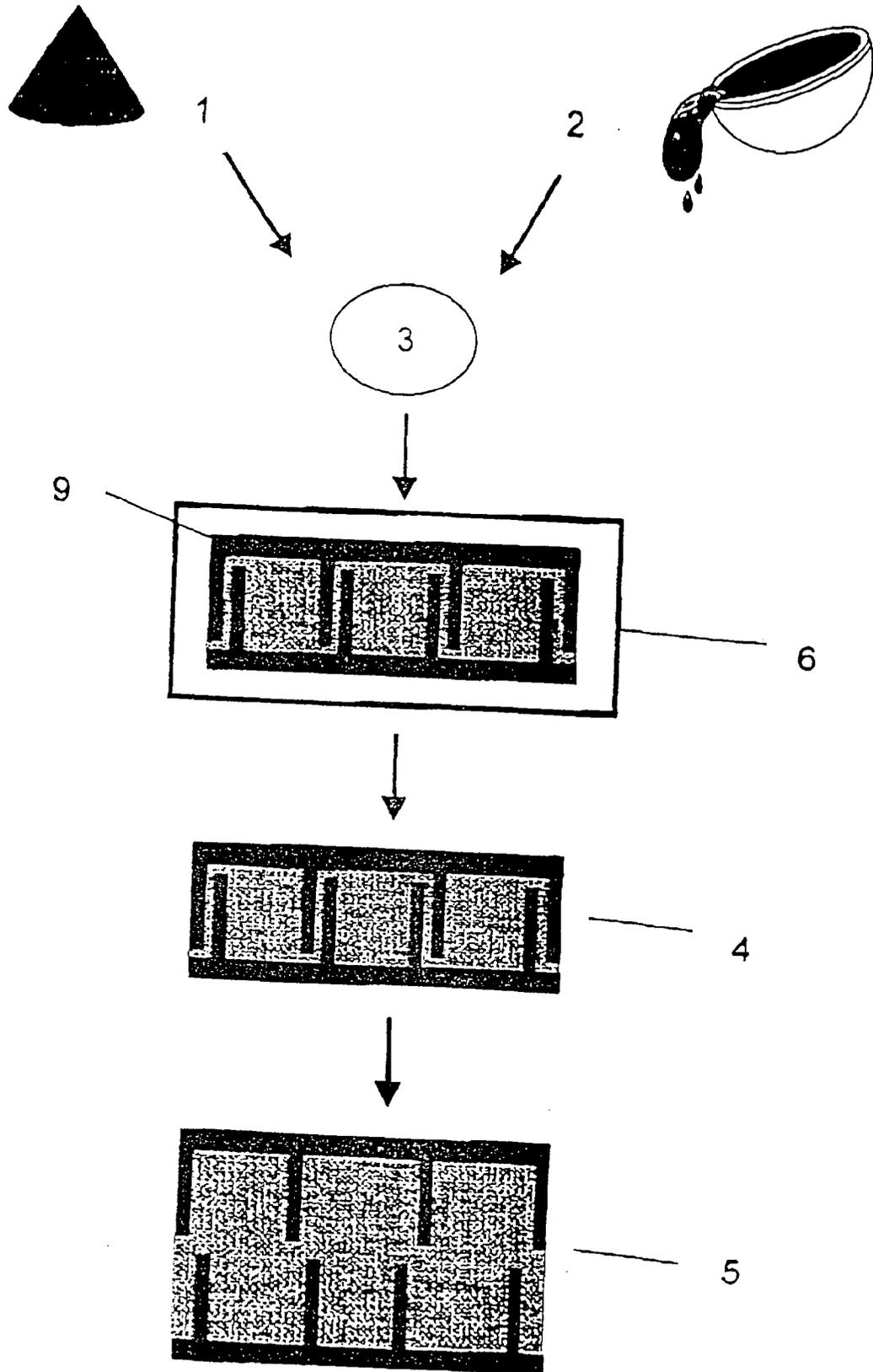


Fig. 3

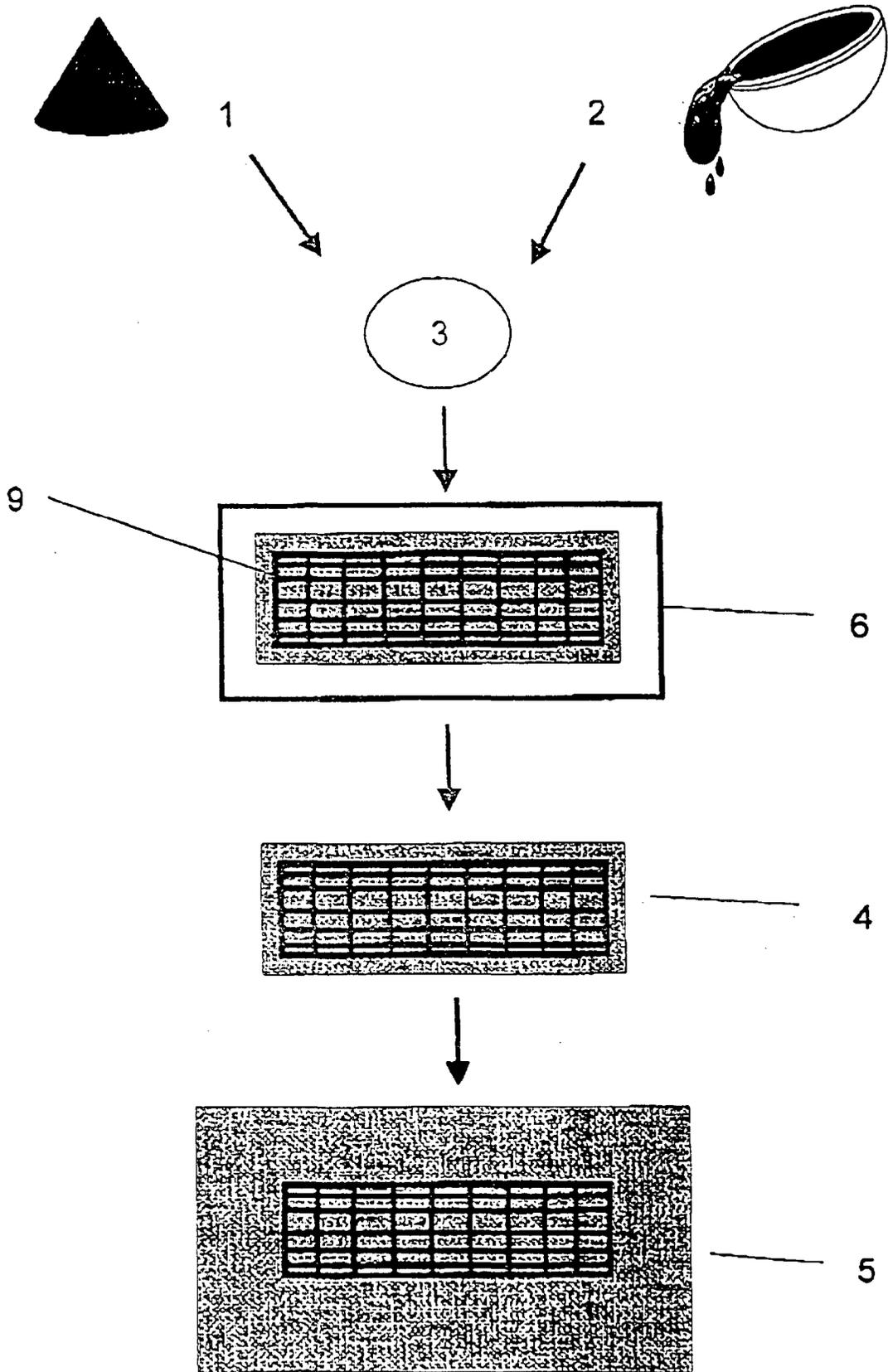


Fig. 4

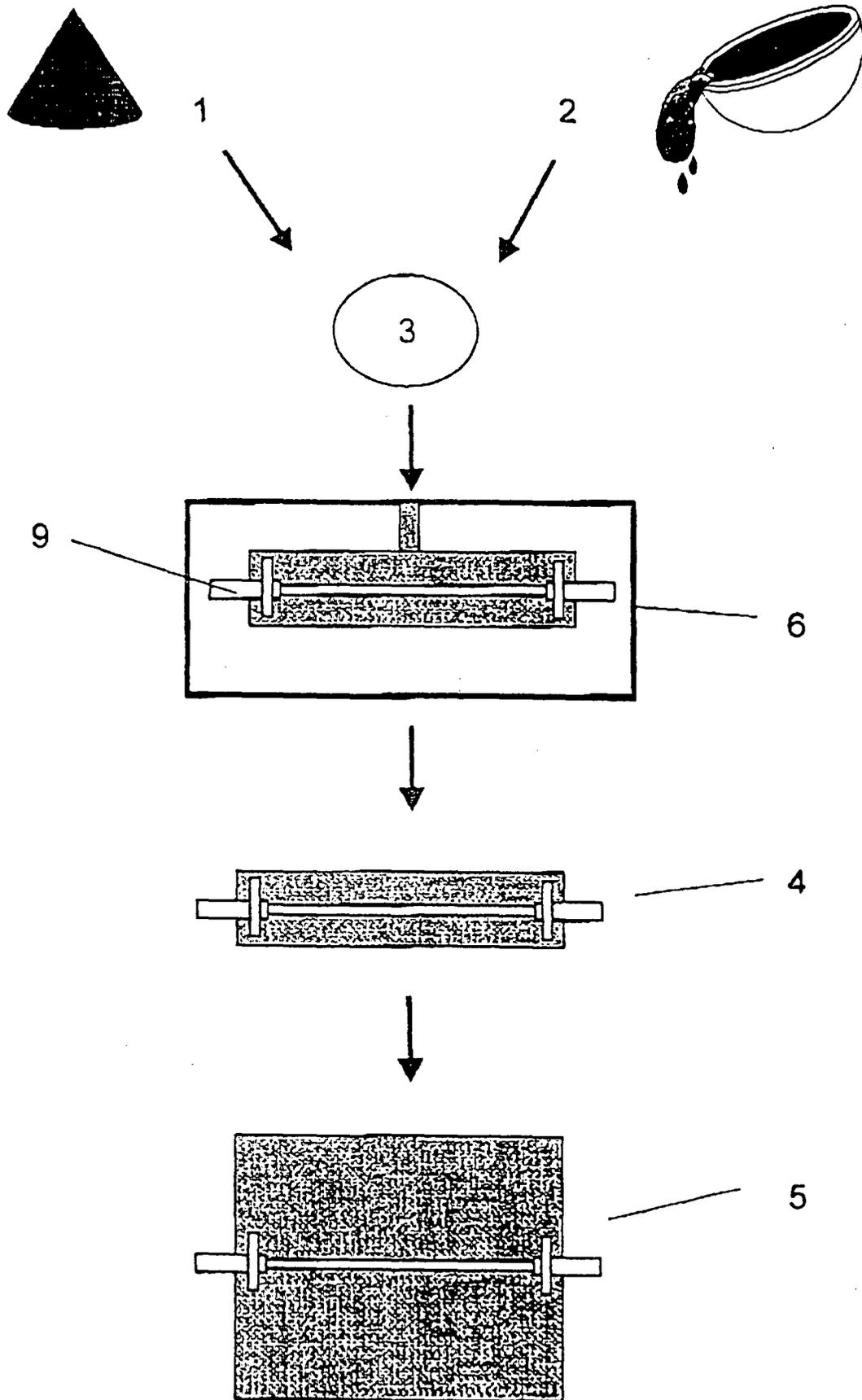


Fig. 5

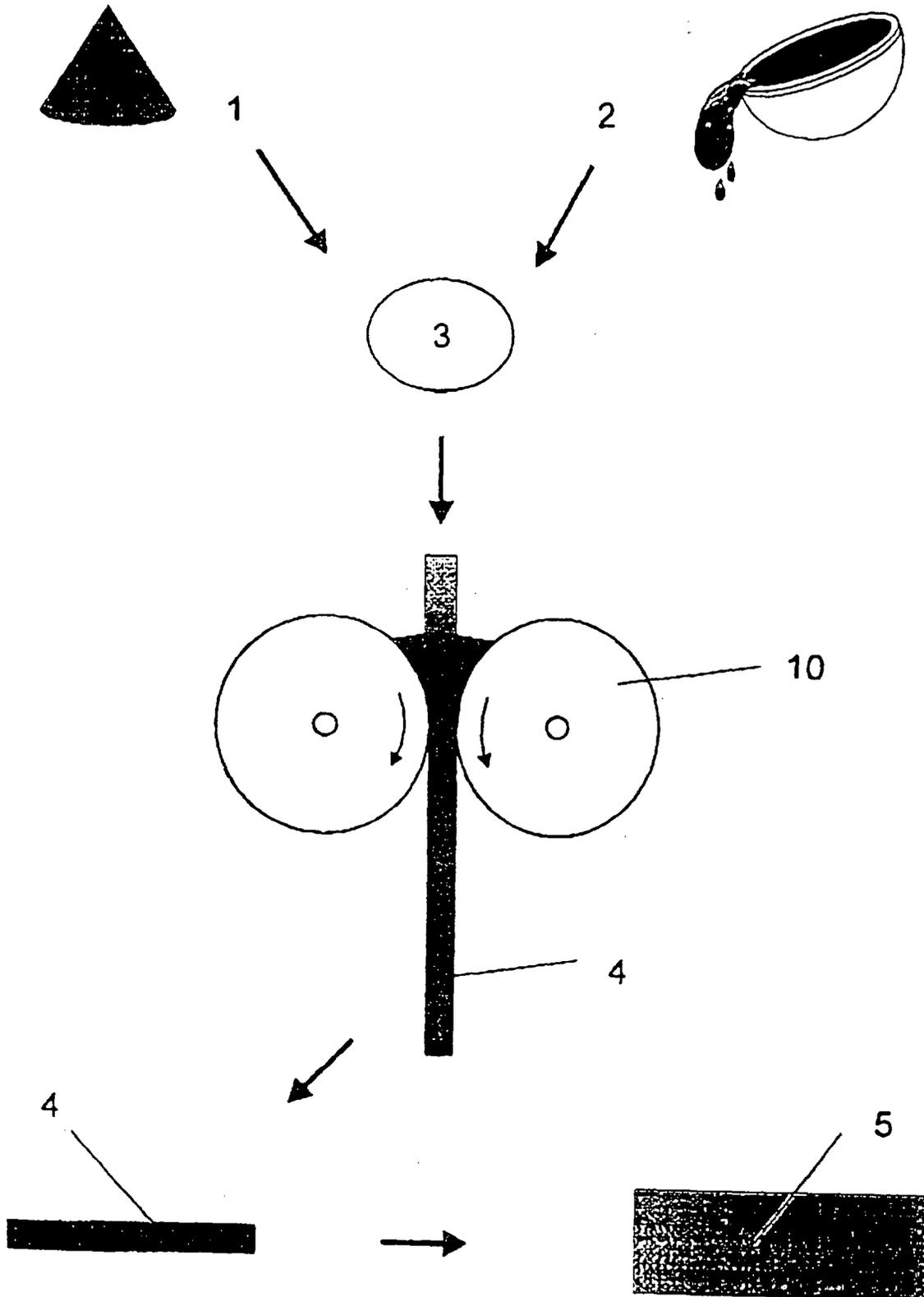


Fig. 6