

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
16. Dezember 2004 (16.12.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/108976 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **C22C 1/08**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/005887

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Juni 2004 (01.06.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 25 819.1 7. Juni 2003 (07.06.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **FRIEDRICH-ALEXANDER- UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG** [DE/DE]; Schlossplatz 4,
91054 Erlangen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KÖRNER, Carolin**
[DE/DE]; Regensburger Str. 9, 90537 Feucht (DE).
HIRSCHMANN, Markus [DE/DE]; Bayreuther Str.

47, 91054 Erlangen (DE). **SINGER, Robert, Friedrich**
[DE/DE]; Rudelsweiher Str. 49 b, 91054 Erlangen (DE).

(74) **Anwalt: GASSNER, Wolfgang**; Nägelsbachstr. 49 A,
91052 Erlangen (DE).

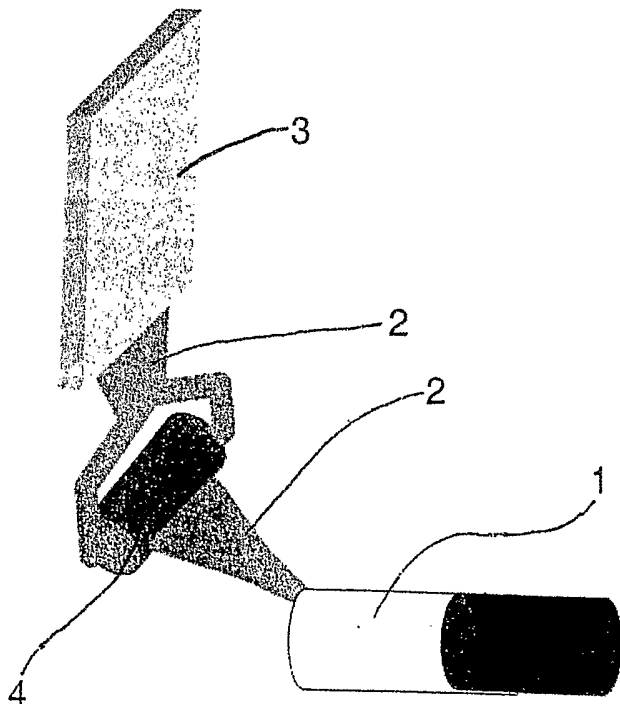
(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR PRODUCING A METAL FOAM BODY

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES METALLSCHAUMKÖRPERS



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for pro-
ducing a metal foam body, whereby a molten metal is pre-
pared and introduced into a reservoir (1), and said molten
metal (2) is injected into a mould cavity (3) surrounded
by a mould, via a line (2) connecting the reservoir (1) to
the mould. The aim of the invention is to create a foam
structure only in the core of the metal foam body. To this
end, a blowing agent is added to the metal melt, once it
has left the reservoir (1) and before it enters the mould
cavity (3).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein
Verfahren zur Herstellung eines Metallschaumkörpers
mit folgenden Schritten: Bereitstellen einer in einem
Vorratsbehälter (1) aufgenommenen Metallschmelze,
Einspritzen der Metallschmelze (2) in einen von einer
Form umgebenen Formhohlraum (3) durch eine den
Vorratsbehälter (1) mit der Form verbindende Leitung
(2). Um eine Schaumstruktur lediglich im Kern des
Metallschaumkörpers auszubilden wird erfindungsge-
mäß vorgeschlagen, dass der Metallschmelze nach dem
Verlassen des Vorratsbehälters (1) und vor dem Eintritt
in den Formhohlraum (3) ein Treibmittel zugesetzt wird.

WO 2004/108976 A2



RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Verfahren zur Herstellung eines Metallschaumkörpers

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Metallschaumkörpers.

Ein solches Verfahren ist aus der WO 02/060621 A2 bekannt. Bei dem bekannten Verfahren wird ein Treibmittel zum Aufschäumen einer Metallschmelze entweder im Formhohlraum vorgelegt oder es wird mit der Metallschmelze in einer Füll- oder Gießkammer in Kontakt gebracht. Wenn das Treibmittel im Formhohlraum vorgelegt wird, verteilt es sich nicht homogen in der Metallschmelze. Ein daraus hergestellter Metallschaumkörper weist eine inhomogene Schaumstruktur auf. Wenn das Treibmittel in der Gießkammer mit der Metallschmelze in Kontakt gebracht wird, beginnt die Zersetzung des Treibmittels bereits in der Gießkammer. Um dem Verlust an Treibmittel entgegenzuwirken, müssen erhöhte Treibmittelmengen in die Gießkammer eingebracht werden. Das verursacht erhöhte Kosten. Abgesehen davon wird das Treibmittel auch bei einer Zugabe in die Gießkammer häufig nicht homogen in der Metallschmelze verteilt. Auch in diesem Fall weisen Metallschaumkörper eine inhomogene Schaumstruktur auf.

Aus der DE 100 45 494 A1 ist es bekannt, zur Herstellung eines Metallschaumkörpers ein Metallpulver und ein pulverförmiges Treibmittel in einer Extrudiervorrichtung zu mischen und zu schmelzen. Die mit dem Treibmittel versetzte Metallschmelze wird anschließend aus der einen Vorratsbehälter bildenden Extrudiervorrichtung in einen Formhohlraum eingespritzt. Dabei setzt die Schaumbildung schon während des Einspritzens der Metallschmelze in den Formhohlraum ein. Ein nach diesem Verfahren hergestellter Metallschaumkörper weist keine besonders gute Oberflächenqualität auf. Auch bei diesem Verfahren

muss eine relativ große Menge an Treibmittel eingesetzt werden. Das bekannte Verfahren ist relativ teuer.

Aus der DE 100 09 008 C1 ist ein Verfahren zur Herstellung einer Verbundstruktur mit einem Metallschaum-Kern bekannt. Dabei wird ein Metallschaum-Kern in eine Druckgießform eingesetzt und anschließend im Druckgussverfahren mit Metall umspritzt. Das bekannte Verfahren ist relativ umständlich. Es sind die separate Herstellung eines Metallschaum-Kerns und ein Einlegen desselben in einen Formhohlraum erforderlich. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass häufig keine stoffschlüssige Bindung zwischen dem Metallschaum-Kern und der umspritzten Metallhülle sich ausbildet. Schließlich können mit dem bekannten Verfahren lediglich minimale Bauteildicken von 10 mm realisiert werden.

Aus der WO 99/64287 ist ein Verfahren zur Herstellung eines Metallschaumkörpers bekannt. Dabei wird das Treibmittel der Metallschmelze außerhalb eines Formhohlraums zugemischt. Anschließend wird die mit dem Treibmittel versehene Metallschmelze in den Formhohlraum überführt. Dabei kommt es bereits zum Aufschäumen der Metallschmelze. Die hergestellten Metallschaumkörper weisen keine besonders gute Oberfläche auf.

Die GB 892,934 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung eines Metallschaumkörpers. Dabei wird eine Metallschmelze in einer Mischvorrichtung mit einem Treibmittel gemischt. Die aus der Metallschmelze und dem Treibmittel bestehende Mischung wird anschließend in einen Formhohlraum überführt. - Das vorgeschlagene Verfahren ist in der Praxis nur schwer durchführbar. Es kommt mitunter in der Mischeinrichtung unerwünschterweise zum Aufschäumen der Metallschmelze.

Die DE 1 164 102 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines Metallschaumkörpers, bei dem ein pulverförmiges Treibmittel einer Metallschmelze zugesetzt wird. Dazu wird eine Extrusionsvorrichtung verwendet, der flüssiges Metall zugegeben wird. Die Extrusionsvorrichtung weist einen Anschluss zur Zugabe von pulverförmigem Treibmittel auf. Das Treibmittel wird mit dem flüssigen Metall in der Extrusionsvorrichtung gemischt. Dabei kommt es zum Aufschäumen der Metallschmelze. Die hergestellten Metallschaumkörper weisen keine besonders gute Oberfläche auf.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile nach dem Stand der Technik zu beseitigen. Es soll insbesondere ein Verfahren angegeben werden, das auf einfache und kostengünstige Weise die Herstellung von eine verbesserte Oberflächenqualität aufweisenden metallischen Formkörpern mit einer im Inneren vorliegenden Schaumstruktur ermöglicht. Nach einem weiteren Ziel der Erfindung soll das Verfahren eine serienmäßige Herstellung solcher Metallschaumkörper ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen ergeben sich aus den Merkmalen der Ansprüche 2 bis 38.

Nach Maßgabe der Erfindung ist vorgesehen, dass der Metallschmelze nach dem Verlassen des Vorratsbehälters und vor dem Eintritt in den Formhohlraum ein Treibmittel zugesetzt wird. Überraschenderweise gelingt es damit, Metallschaumkörper mit einer hervorragenden Oberflächenqualität herzustellen, die im Inneren eine Schaumstruktur aufweisen. Indem das Treibmittel auf dem Weg von der Vorratskammer zum Formhohlraum beige-mischt wird, wird eine besonders homogene Mischung der Metallschmelze mit dem Treibmittel erreicht. Die daraus hergestellten Metallschaumkörper weisen im Inneren eine homogene Schaumstruktur auf, wohingegen die den Kern umhüllende Ober-

fläche aus einer dichten Metallwand besteht. Derartig hergestellte Metallschaumkörper weisen hervorragende mechanische Eigenschaften auf. Überraschenderweise gelingt es mit dem vorgeschlagenen Verfahren sogar, dünnwandige Formkörper aus Metall herzustellen, deren Inneres eine Schaumstruktur aufweisen. Beim vorgeschlagenen Verfahren wird das Treibmittel sich erst nach dem Einspritzen der Metallschmelze im Formhohlraum vollständig zersetzt. Die in den Formhohlraum eingespritzte Metallschmelze wird an den Formwänden abgeschreckt und erstarrt dort schlagartig. Es bildet sich eine dichte den späteren Metallschaumkörper umgebende Metallwand. Im Zentrum des Formhohlraums erfolgt die Abkühlung der Metallschmelze dagegen langsamer. Dort zersetzt sich das Treibmittel. Im Inneren des Formkörpers wird ein Metallschaum-Kern gebildet. Das vorgeschlagene Verfahren ist relativ preiswert. Es kann ähnlich wie ein herkömmliches Druckgussverfahren durchgeführt werden. Es ist lediglich erforderlich, zwischen dem Vorratsbehälter und dem Formhohlraum das Treibmittel in geeigneter Weise zuzuführen. Die Menge an zugeführtem Treibmittel kann relativ gering gehalten werden.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung werden die Metallschmelze und das Treibmittel vor dem Eintritt in die Form turbulent gemischt. Das Treibmittel kann vor der Herstellung der turbulenten Mischung der Metallschmelze zugesetzt werden. Es ist aber auch möglich, das Treibmittel während der Herstellung der turbulenten Mischung der Metallschmelze zuzusetzen. Das Treibmittel kann zur Herstellung der turbulenten Mischung vor oder während des Einspritzens der Metallschmelze in die Leitung injiziert oder einer in die Leitung eingeschalteten Mischeinrichtung zugeführt werden. Dabei wird vorteilhafterweise der Effekt ausgenutzt, dass die Metallschmelze beim Einspritzen durch die Leitung mit einer extrem hohen Geschwindigkeit geführt und dabei turbulent gemischt wird. Die Ausbildung einer turbulenten Mischung bzw. Strömung auf

dem Weg vom Vorratsbehälter zum Formhohlraum bewirkt eine besonders gleichmäßige Verteilung des Treibmittels in der Metallschmelze.

Das Einspritzen der Metallschmelze kann z. B. mittels einer Druckgieß- oder einer Extrudiervorrichtung durchgeführt werden. Grundsätzlich können zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sämtliche bekannten Gießverfahren eingesetzt werden, die eine schnelle Formfüllung ermöglichen. Als besonders geeignet haben sich zum Einspritzen der Schmelze in den Formhohlraum folgende Maschinen erwiesen: Warmkammer-Druckgießmaschine, waagrechte Kaltkammer-Druckgießmaschine, senkrechte Kaltkammer-Druckgießmaschine, Kokillengießanlage, insbesondere eine Druck-Kokillengießanlage oder eine Niederdruckgießanlage, eine Squeeze-Casting Maschine oder eine Maschine zum Vergießen von Semi-Solid-Schmelzen.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens können auch Warmkammer-Druckgießmaschinen eingesetzt werden. Dabei befindet sich der Vorrats- bzw. Gießbehälter in der Metallschmelze. Dem Formhohlraum ist die Mischeinrichtung vorgeschaltet. In ähnlicher Weise eignet sich zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens auch eine Squeeze-Casting Maschine, bei welcher der Gieß- bzw. Vorratsbehälter schwenkbar ausgebildet ist. Auch hier ist dem Formhohlraum unmittelbar die Mischeinrichtung vorgeschaltet. Ferner geeignet zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind waagrechte Kaltkammermaschinen. Dabei liegt der Formhohlraum oberhalb des Gieß- bzw. Vorratsbehälters. Die Mischeinrichtung ist in diesem Fall ebenfalls dem Formhohlraum in einer Ebene oberhalb des Vorratsbehälters vorgeschaltet.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eignen sich auch senkrechte Kaltkammermaschinen. Dabei wird die Metallschmelze aus einem senkrecht angeordneten Vorratsbehälter

bzw. einer Gießkammer über die Leitung in den Formhohlraum überführt. In die Leitung kann die Mischeinrichtung eingeschaltet sein. Stromaufwärts der Mischeinrichtung weist die Leitung eine Biegung auf. Infolgedessen gelangt bereits turbulent strömende Metallschmelze in die Mischeinrichtung. Es wird eine besonders homogene Mischung zwischen Treibmittel und Metallschmelze erreicht.

Nach einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird der Formhohlraum vollständig mit Metallschmelze gefüllt. Dabei kann ein Druck von bis zu 2000 bar auf die im Formhohlraum befindliche Metallschmelze ausgeübt werden. Infolge der Druckausübung können selbst dünne und kleine Formhohlräume vollständig ausgefüllt werden. Es können komplexe und dünnwandige Bauteile mit einer hervorragenden Oberflächenqualität hergestellt werden. Abgesehen davon wird durch den beim Einspritzen und unmittelbar nach dem Einspritzen ausgeübten Druck auf die Metallschmelze ein Aufschäumen derselben unterdrückt.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird spätestens 5 Sekunden nach dem Einspritzen der Metallschmelze der Druck entlastet und damit ein Aufschäumen der Metallschmelze ermöglicht. Das Aufschäumen der Metallschmelze erfolgt dabei in den noch nicht erstarrten Bereichen im Kern des Bauteils.

Die Entlastung des Drucks kann mit einem vorgegebenen Druckentlastungsprofil erfolgen. Damit kann die Zellengröße des sich bildenden Schaums sowie dessen Verbreitung im Volumen des Bauteils gesteuert werden. Nach einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung wird die Druckentlastung durch entsprechende Steuerung der Druckgieß- und Extrudiervorrichtung durchgeführt. Sie kann beispielsweise durch ein gesteuertes Zurückziehen eines Einspritzkolbens oder einer Extrudierschnecke erfolgen.

Nach einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung kann der Formhohlraum nach dem Schließen vor oder während des Erstarrens der Metallschmelze vergrößert werden. Die Vergrößerung des Formhohlraums setzt dabei spätestens 5 Sekunden nach dem Einspritzen ein. Das ermöglicht ein Aufschäumen der Metallschmelze. Die Vergrößerung des Formhohlraums kann mit einem vorgegebenen Geschwindigkeitsprofil durchgeführt werden. Damit ist es möglich, die Schaumstruktur und die Verteilung des Schaums im Volumen zu steuern. Der Formhohlraum kann nach einer vorteilhaften Ausgestaltung um 5% bis 1000% in Bezug zu seinem Ausgangsvolumen vergrößert werden. Der Formhohlraum kann durch Öffnen eines oder mehrerer Schieber oder durch Herausziehen von in den Formhohlraum ragenden Formkernen vergrößert werden. Er kann auch durch Öffnen der Form oder von Formschalen vergrößert werden. Bei einer Druckentlastung durch Vergrößerung des Formhohlraums ist der Formhohlraum in jedem Moment vollständig mit dem expandierenden Bauteil gefüllt. Das Bauteil weist eine besonders gute und fehlerfreie Oberfläche auf.

Nach einer weiteren vorteilhaften Verfahrensvariante wird die Form vollständig gefüllt und nach dem Einspritzen mit einem Druck von bis zu 2000 bar beaufschlagt. Spätestens 5 Sekunden nach dem Einspritzen der Metallschmelze wird die Druck aufbringende Vorrichtung definiert so bewegt, dass der Druck sich abbaut. Bedingt durch den Druckabbau kommt es in der Metallschmelze durch das Treibmittel zur Gasfreisetzung. Die Metallschmelze schäumt auf. Das überschüssige aufgeschäumte Material wird in einen in der Druck aufbringenden Vorrichtung gebildeten freien Hohlraum, beispielsweise eine Kolbenraum, gedrückt. In diesem Fall kann das Aufschäumen der Metallschmelze durch eine Steuerung der Druck aufbringenden Vorrichtung realisiert werden. Das Verfahren kann in diesem Fall mit herkömmlichen Formen realisiert werden.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird der Formhohlraum nach dem Überführen der Metallschmelze geschlossen. Damit kann auf besonders einfache Weise verhindert werden, dass auf den Formhohlraum ein unerwünschte Verdichtung der Schaumstruktur bewirkender Nachdruck aufgebracht wird. Das Schließen des Formhohlraums kann beispielsweise mittels einer gezielten Kühlung bestimmter Bereiche der Form bewirkt werden. Infolge der Kühlung wird eine gezielte Erstarrung der Metallschmelze im Bereich des Angussquerschnitts erreicht. Zur Vermeidung eines unerwünschten Nachdrucks ist es aber auch möglich, echtzeitgeregelte Gießmaschinen zu verwenden. Derartige Maschinen können so geregelt werden, dass ein Nachdruck nicht stattfindet. Schließlich ist es auch möglich, den Formhohlraum mittels eines Schiebers oder dgl. zu verschließen.

Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, dass der Formhohlraum vor dem Überführen der Metallschmelze evakuiert wird, d. h. im Formhohlraum herrscht ein kleinerer Druck als der Atmosphärendruck. In diesem Fall wirkt der aufschäumenden Metallschmelze ein geringerer Gasdruck entgegen. Es bilden sich im Kern des Metallschaumkörpers besonders homogene Schaumstrukturen aus. Außerdem kann mit dieser Maßnahme die Menge an zugesetztem Treibmittel weiter vermindert werden.

Nach einer weiteren Ausgestaltung kann die Form und/oder die Mischeinrichtung vor dem Überführen der Metallschmelze auf eine Temperatur zwischen 50°C und 400°C vorgewärmt werden. Damit kann gezielt die Erstarrungsgeschwindigkeit der Metallschmelze in der Form und damit auch die Struktur des Metallschaumkörpers beeinflusst werden.

Als Form kommt zweckmäßigerweise eine metallische Dauerform zum Einsatz. Die Form kann an ihrer dem Formhohlraum zuge-

wandten Innenseite zumindest abschnittsweise mit einer Keramik beschichtet oder mit einem keramischen Einsatz versehen sein.

Die Metallschmelze ist zweckmäßigerweise aus einem Leichtmetall gebildet. Zur Herstellung der Metallschmelze kann eines der folgenden Metalle verwendet werden: Aluminium, Aluminiumlegierung, Magnesium, Magnesiumlegierung, Zink, Zinklegierung.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens hat es sich als zweckmäßig erwiesen, der Metallschmelze bezogen auf das Gewicht des daraus hergestellten Metallschaumkörpers 0,1 bis 5 Gew.% an Treibmittel zuzusetzen. Zweckmäßigerweise wird ein Treibmittel gewählt, dessen Zersetzungstemperatur kleiner als die Solidus-Temperatur des Metalls ist. Das Treibmittel kann vor dem Zusetzen zur Metallschmelze oxidiert werden. Als Treibmittel kann ein Metallhydrid verwendet werden, das vorzugsweise zumindest einen aus der folgenden Gruppe ausgewählten Stoff enthält: Magnesiumhydrid, Titanhydrid, Kalziumhydrid, Zirkonhydrid.

Nach einer zweckmäßigen Ausgestaltung wird der Metallschmelze bezogen auf das Gewicht des daraus hergestellten Metallschaumkörpers 0,1 bis 10 Gew.% eines Zusatzstoffs zugesetzt. Der Zusatzstoff kann mindestens einen aus der folgenden Gruppe ausgewählten Stoff enthalten: Oxid, Karbonat, Karbid, Reinmetall, Graphit. Als Oxid kann insbesondere V_2O_5 , Fe_3O_4 , Cr_2O_3 , TiO_2 , CuO , Mn_2O_3 , Sc_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 verwendet werden. Geeignete Karbide sind z. B. VC, SiC. Als Karbonate kommen in Betracht: $MgCO_3$, $CaCO_3$. Geeignete Reinmetalle sind: V, Ti, Mn, Fe, Ni. Solche Zusatzstoffe verbessern das Aufschäumenverhalten der Metallschmelze. Sie können des Weiteren eine in-situ-Oxidation der Metallschmelze bewirken. Ferner können sie als Keimbildner bei der Entstehung von Gasporen in der Me-

tallschmelze wirken. Schließlich können sie auch als Katalysator für die Zersetzung des Treibmittels dienen. Sie können die Gasausbeute und die Zersetzungsgeschwindigkeit des Treibmittels erhöhen. Die Zusatzstoffe können allgemein zur Steuerung der Zersetzung des Treibmittels dienen.

Weiter hat es sich als zweckmäßig erwiesen, als Leichtmetall zur Herstellung der Metallschmelze voroxidiertes Leichtmetall oder rezykliertes Leichtmetall zu verwenden. Die in solchen Leichtmetallen enthaltenen Oxide dienen zur Stabilisierung der Schaumstruktur.

Nach einer weiteren Ausgestaltung kann die Metallschmelze einen Festphasenanteil zwischen 0 und 70 Vol.% enthalten. In diesem Fall handelt es sich um eine so genannte "Semi-Solid-Schmelze".

Nach einer weiteren Ausgestaltung ist es auch möglich, in einen einzigen Formhohlraum sowohl Metallschmelze mit darin homogen eingemischtem Treibmittel als auch Metallschmelze ohne Treibmittel einzuspritzen. Damit gelingt die Herstellung komplexer Bauteile, die in ihrem Inneren lediglich zum Teil eine Metallschaumstruktur aufweisen. Andere Bestandteile des hergestellten Formkörpers sind vollständig dicht aus Metall hergestellt. In diesen Bereichen ist es beispielsweise möglich, Gewindebohrungen einzubringen.

Gegenstand der Erfindung ist des Weiteren ein nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellter Metallschaumkörper, der zweckmäßigerweise mit einer allseitig geschlossenen äußeren Oberfläche und einem davon umgebenen aus einem Metallschaum gebildeten Inneren besteht.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Ansicht eines Querschliffs eines nach dem Stand der Technik hergestellten Metallschaumkörpers,
- Fig. 2 eine Ansicht eines Querschliffs eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Metallschaumkörpers,
- Fig. 3 eine mittels Computertomograf durchgeführte dreidimensionale Rekonstruktion des Metallschaumkörpers gemäß Fig. 2,
- Fig. 3a, b, c 2-dimensionale Schnitte an verschiedenen Orten der dreidimensionalen Rekonstruktion gemäß Fig. 3,
- Fig. 4 die relative Dichte eines Metallschaumkörpers über dessen Dicke,
- Fig. 5 die Porengrößenverteilung eines Metallschaumkörpers für verschiedene Gesamtdichten,
- Fig. 6 die Abhängigkeit der Biegesteifigkeit von Metallschaumkörpern von deren Dichte,
- Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Herstellung von Metallschaumkörpern,
- Fig. 8a eine erste Form zur Herstellung eines Metallschaumkörpers,
- Fig. 8b die erste Form gemäß Fig. 8a, wobei ein Formhohlraum vergrößert ist,

- Fig. 9a eine zweite Form zur Herstellung eines Metallschaumkörpers,
- Fig. 9b die zweite Form gemäß Fig. 9a, wobei ein Formhohlraum mit Metallschmelze gefüllt ist,
- Fig. 9c die zweite Form gemäß Fig. 9a, wobei der Formhohlraum mit Metallschaum gefüllt ist,
- Fig. 10a eine dritte Form zur Herstellung eines Metallschaumkörpers,
- Fig. 10b die dritte Form gemäß Fig. 10a, wobei ein Formhohlraum mit Metallschmelze gefüllt ist und
- Fig. 10c die dritte Form gemäß Fig. 10a, wobei der Formhohlraum vergrößert ist.

In Fig. 1 ist eine Ansicht eines Querschliffs eines nach dem Stand der Technik hergestellten Metallschaumkörpers gezeigt. Der Formkörper ist folgendermaßen hergestellt worden: 1,5 g Magnesiumhydrid sind als Treibmittel in einen Formhohlraum einer metallischen Dauerform vorgelegt worden. Mittels einer herkömmlichen Extrudiertvorrichtung werden 140 g einer handelsüblichen Magnesiumlegierung (Typ AM 60) in den Formhohlraum geschossen. Ein Nachdruck ist nicht aufgebracht worden. Wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, ist das Treibmittel in der Metallschmelze inhomogen verteilt. Es entsteht insgesamt ein Metallschaumkörper mit einer inhomogenen Porenverteilung. Insbesondere bilden sich auch größere Poren in der Nähe der Oberfläche des Metallschaumkörpers.

Zur Herstellung des in Fig. 2 gezeigten Metallschaumkörpers ist eine Vorrichtung gemäß Fig. 7 verwendet worden. Ein Vor-

ratsbehälter 1 einer Gießvorrichtung ist über eine Leitung 2 mit einem Formhohlraum 3 verbunden. In die Leitung 2 eingeschaltet ist eine zylindrische Mischeinrichtung 4. Ein vom Vorratsbehälter 1 kommender Leitungssast mündet in Form eines Längsspalts in den Zylindermantel der Mischeinrichtung 4. Von der Mischeinrichtung 4 zum Formhohlraum 3 führende weitere Leitungssäste erstrecken sich von den beiden Zylindergrundflächen zu einem Angussquerschnitt des Formhohlraums 3. Der Vorratsbehälter 1 ist z. B. mit einer aus Leichtmetall hergestellten Schmelze gefüllt.

Zur Herstellung des in Fig. 2 gezeigten Metallschaumkörpers wird 1 g Magnesiumhydrid in der zylindrischen Mischeinrichtung 4 vorgelegt. In der Extrudiertvorrichtung 1 werden wiederum 140 g einer handelsüblichen Magnesiumlegierung (Typ AM 60) über die Mischvorrichtung 4 in den Formhohlraum 3 geschossen. Ein Nachdruck ist nicht aufgebracht worden. In der Mischeinrichtung 4 kommt es zu einer turbulenten Verwirbelung der Metallschmelze. Dabei wird das Treibmittel vollständig und homogen in die Metallschmelze eingemischt. Wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, bilden sich infolge der homogenen Verteilung sowie der verzögerten Zersetzung des Treibmittels in der Schmelze Poren vor allem im Kern des Metallschaumkörpers.

In Fig. 3 ist eine mittels eines Röntgen-Computertomografen hergestellte dreidimensionale Rekonstruktion des in Fig. 2 gezeigten Metallschaumkörpers dargestellt. Die relative Dichte des Metallschaumkörpers an der Oberfläche bzw. in einer in der Nähe der Oberfläche befindlichen Schicht beträgt bei der in Fig. 3a gezeigten zweidimensionalen Darstellung 100 %. Die relative Dichte nimmt zum Inneren des Metallschaumkörpers hin ab. Sie beträgt in Fig. 3b 70 % und in Fig. 3c 30 %.

In Fig. 4 ist nochmals die Dichte der Verteilung des Metallschaumkörpers über dessen Dicke gezeigt. Der Dichteverlauf

lässt sich durch die Änderung der Prozessparameter einstellen. In Fig. 4 ist die relative Dichte für eine Gesamtdichte des Metallschaumkörpers von $1,16 \text{ g/cm}^3$ und für einen weiteren Metallschaumkörper mit einer gesamten Dichte von $1,63 \text{ g/cm}^3$ gezeigt.

In Fig. 5 ist die Porengröße für die Verteilung aus Magnesium hergestellten Metallschaumkörpers in Abhängigkeit von dessen Gesamtdichte gezeigt. Die Porengrößenverteilung lässt sich ebenfalls in Abhängigkeit der jeweils gewählten Prozessparameter gezielt variieren. In Fig. 5 sind Porengrößenverteilungen von Magnesiumschaumkörpern mit einer Gesamtdichte von $1,56 \text{ g/cm}^3$, $1,44 \text{ g/cm}^3$, $1,12 \text{ g/cm}^3$ gezeigt.

Fig. 6 zeigt die Zunahme der Biegesteifigkeit in Prozent eines Metallschaumkörpers über dessen Dichte gegenüber einem aus Magnesium hergestellten vergleichbaren massiven Bauteil (Dichte etwa $1,8 \text{ g/cm}^3$). Die Biegesteifigkeit kann um bis zu 65 % gegenüber einem massiven Bauteil gesteigert werden.

Nachfolgend wird ein weiteres Beispiel zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Metallschaumkörpers beschrieben.

Es werden 3,25 g Magnesiumhydrid und 5,5 g Magnesiumkarbonat in der Mischeinrichtung 4 vorgelegt. Die Mischvorrichtung 4 ist hier Bestandteil einer metallischen Dauerform. Die Dauerform wird in eine waagrechte Kaltkammer-Druckgussmaschine eingebaut, so dass die Mischvorrichtung 4 unterhalb des Formhohlraums 3, aber höher als der Vorratsbehälter 1 liegt. Mittels des Gießkolbens werden 420 g Metallschmelze einer Legierung AZ 91 über die Mischeinrichtung 4 in den Formhohlraum 3 geschossen. Ein Nachdruck findet nicht statt. Eine Untersuchung des so hergestellten Magnesiumschaumkörpers zeigt, dass der Zusatz von Magnesiumkarbonat eine Verringerung der mittleren Porengröße bewirkt. Die relative Dichte des Bauteils

ändert sich im Vergleich zur alleinigen Verwendung von Treibmittel, d. h. ohne Zusatz von Magnesiumkarbonat, kaum.

Die Fig. 8a und 8b zeigen eine erste Form 4, welche den Formhohlraum 3 umgibt. Die erste Form 4 weist einen ersten Schieber 5a und einen damit zusammenwirkenden zweiten Schieber 5b auf. Bei der in Fig. 8a gezeigten Anordnung der Schieber 5a, 5b weist der Formhohlraum 3 ein kleines Volumen auf. Durch Zurückziehen des ersten Schiebers 5a wird der Formhohlraum auf das aus Fig. 8b ersichtliche große Volumen vergrößert. Ein Zurückziehen des ersten Schiebers 5a bewirkt gleichzeitig eine Verschiebewegung des zweiten Schiebers 5b in die linke Richtung, wodurch der Formhohlraum 3 in seiner Geometrie verändert wird.

Die Fig. 9a bis c zeigen eine zweite Form 4, bei der ein Formhohlraum 3 über die Leitung 2 mit dem Vorratsbehälter 1 einer mit dem Bezugszeichen 6 bezeichneten Kolbendruckgießvorrichtung verbunden ist.

In den Fig. 10a bis c ist eine dritte Form 4 gezeigt, welche über die Leitung 2 mit dem Vorratsbehälter 1 einer Kolbendruckgießvorrichtung 6 verbunden ist. Der Formhohlraum 3 weist einen dritten Schieber 5c auf, der mittels einer Bewegungseinrichtung 7 zur Vergrößerung des Formhohlraums 3 bewegbar ist.

Mit den in den Fig. 8 bis 10 gezeigten Formen können folgendermaßen Metallkörper mit einer im Kern aufweisenden Schaumstruktur hergestellt werden:

Im Vorratsbehälter 1 befindliche Metallschmelze wird beispielsweise mittels der Kolbendruckgießvorrichtung 6 in den Formhohlraum 3 geschossen. Dabei wird während des Überführens der Metallschmelze in die Leitung 2 Treibmittel, beispiels-

weise Titanhydrid, injiziert. Der Formhohlraum 3 wird vollständig mit Metallschmelze gefüllt. Wegen des auf die Metallschmelze wirkenden Drucks kommt es zunächst noch nicht zum Aufschäumen.

Anschließend kann, wie beispielsweise in den Fig. 8 und 10 gezeigt ist, der Formhohlraum 3 durch Bewegung der Schieber 5a, 5b, 5c vergrößert werden, wobei in diesem Fall ein Angussquerschnitt der Form 4 verschlossen ist. Infolge der Vergrößerung des Formhohlraums schäumt die Metallschmelze auf. Das Aufschäumen findet insbesondere im heißen Kernbereich der Schmelze statt, wohingegen an den Wänden des Formhohlraums 3 die Metallschmelze schneller abkühlt und infolgedessen dort ein Aufschäumen nicht stattfindet.

Anstelle einer Vergrößerung des Formhohlraums 3 ist es auch möglich, Volumen zur Expansion der Schmelze durch die Kolbendruckgießvorrichtung 6 zur Verfügung zu stellen. Wie in Fig. 9a bis 9c gezeigt ist, wird mittels der Kolbendruckgießvorrichtung 6 der Formhohlraum 3 zunächst vollständig mit Metallschmelze gefüllt, wobei auch dabei während des Überführens der Metallschmelze Treibmittel in die Leitung 2 injiziert wird. Nachdem der Formhohlraum 3 vollständig mit Metallschmelze gefüllt ist, wird ein Kolben der Kolbendruckgießvorrichtung 6 mit einem vorgegebenen Geschwindigkeitsprofil zurückgezogen, so dass ein kontrolliertes Aufschäumen im Formhohlraum 3 stattfindet.

Mit den vorerwähnten Verfahren gelingt es, Metallschaumkörper mit einer hohen Oberflächenqualität herzustellen. Die Schaumstruktur im Inneren der Metallschaumkörper kann durch die Verfahrensführung kontrolliert werden. Dazu können insbesondere die Parameter der Größe des zum Schäumen zusätzlich zur Verfügung gestellten Volumens sowie der Geschwindigkeit der Volumenzunahme durch eine geeignete Steuerung der Mittel zur

Vergrößerung des Formhohlraums 3, insbesondere der Schieber 5a, 5b, 5c oder der Kolbendruckgießvorrichtung 6 variiert werden.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----------|-----------------------------------|
| 1 | Vorratsbehälter |
| 2 | Leitung |
| 3 | Formhohlraum |
| 4 | Mischvorrichtung |
| 5a, b, c | erster, zweiter, dritter Schieber |
| 6 | Kolbendruckgießvorrichtung |
| 7 | Bewegungseinrichtung |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Metallschaumkörpers mit folgenden Schritten:

Bereitstellen einer in einem Vorratsbehälter (1) aufgenommenen Metallschmelze,

Einspritzen der Metallschmelze in einen von einer Form umgebenen Formhohlraum (3) durch eine den Vorratsbehälter (1) mit der Form verbindende Leitung (2),

dadurch gekennzeichnet, dass

der Metallschmelze nach dem Verlassen des Vorratsbehälters (1) und vor dem Eintritt in den Formhohlraum (3) ein Treibmittel zugesetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Metallschmelze und das Treibmittel vor dem Eintritt in den Formhohlraum (3) turbulent gemischt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Treibmittel vor der Herstellung der turbulenten Mischung der Metallschmelze zugesetzt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Treibmittel zur Herstellung der turbulenten Mischung vor oder während des Einspritzens der Metallschmelze in die Leitung injiziert oder einer in die Leitung (2) eingeschalteten Mischeinrichtung (4) zugeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Metallschmelze mittels einer Druckgieß- oder einer Extrudiervorrichtung in den Formhohlraum (3) eingespritzt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Formhohlraum (3) vollständig mit Metallschmelze gefüllt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach dem Einspritzen ein Druck von bis zu 2000 bar auf die im den Formhohlraum (3) befindliche Metallschmelze ausgeübt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei spätestens 5 Sekunden nach dem Einspritzen der Metallschmelze der Druck entlastet und damit ein Aufschäumen der Metallschmelze ermöglicht wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Entlastung des Drucks mit einem vorgegebenen Druckentlastungsprofil erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Druckentlastung durch entsprechende Steuerung der Druckgieß- oder Extrudiervorrichtung durchgeführt wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Formhohlraum (3) nach dem Überführen der Metallschmelze geschlossen wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Formhohlraum (3) nach dem Überführen der Metallschmelze in die Form vergrößert wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vergrößerung des Formhohlraums (3) vor oder während des Erstarrens der Metallschmelze durchgeführt wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vergrößerung des Formhohlraums (3) spätestens 5 Sekunden nach dem Einspritzen des Metallschmelze einsetzt.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vergrößerung des Formhohlraums (3) mit einem vorgegebenen Geschwindigkeitsprofil durchgeführt wird.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Formhohlraum um 5% bis 1000% in Bezug zu seinem Ausgangsvolumen vergrößert wird.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Formhohlraum (3) durch Öffnen eines oder mehrerer Schieber vergrößert wird.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Formhohlraum (3) durch Öffnen der Form oder von Formschaalen vergrößert wird.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Formhohlraum (3) vor dem Überführen der Metallschmelze evakuiert wird.
20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Form und/oder die Mischeinrichtung (4) vor dem Überführen der Metallschmelze auf eine Temperatur zwischen 50°C und 400°C vorgewärmt wird/werden.
21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Metallschmelze aus einem Leichtmetall gebildet ist.
22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Herstellung der Metallschmelze eines der folgenden Metal-

le verwendet wird: Aluminium, Aluminiumlegierung, Magnesium, Magnesiumlegierung, Zink, Zinklegierung.

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Metallschmelze bezogen auf das Gewicht des daraus hergestellten Metallschaumkörpers 0,1 bis 5 Gew.% an Treibmittel zugesetzt wird.

24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Zersetzungstemperatur des Treibmittels kleiner als die Solidustemperatur des Metalls ist.

25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Treibmittel vor dem Zusetzen zur Metallschmelze oxidiert wird.

26. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei als Treibmittel ein Metallhydrid verwendet wird, das vorzugsweise zumindest einen aus der folgenden Gruppe ausgewählten Stoff enthält: Magnesiumhydrid, Titanhydrid, Kalziumhydrid, Zirkonhydrid.

27. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Metallschmelze bezogen auf das Gewicht des daraus hergestellten Metallschaumkörpers 0,1 bis 10 Gew.% eines Zusatzstoff zugesetzt wird.

28. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Zusatzstoff mindestens einen aus der folgenden Gruppe ausgewählten Stoff enthält: Oxid, Karbonat, Karbid, Reinelement, Graphit.

29. Verfahren nach Anspruch 17, wobei als Oxid zumindest ein aus der folgenden Gruppe ausgewähltes Oxid verwendet wird: V_2O_5 , Fe_3O_4 , Cr_2O_3 , TiO_2 , CuO , Mn_2O_3 , Sc_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 .

30. Verfahren nach Anspruch 17, wobei als Karbonat zumindest ein aus der folgenden Gruppe ausgewähltes Karbonat verwendet wird: MgCO_3 , CaCO_3 .

31. Verfahren nach Anspruch 17, wobei als Karbid zumindest ein aus der folgenden Gruppe ausgewähltes Karbid verwendet wird: VC, SiC.

32. Verfahren nach Anspruch 17, wobei als Reinmetall zumindest ein aus der folgenden Gruppe ausgewähltes Reinmetall verwendet wird: V, Ti, Mn, Fe, Ni.

33. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Metallschmelze aus einem voroxidierten oder einem rezyklierten Leichtmetall gebildet ist.

34. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Metallschmelze einen Festphasenanteil zwischen 0 und 70 Vol.% aufweist.

35. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Metallschmelze ohne Zusatz von Treibmittel durch eine weitere Leitung in den Formhohlraum (3) eingespritzt wird.

36. Metallschaumkörper hergestellt nach dem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

37. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Form an ihrer dem Formhohlraum zugewandten Innenseite zumindest abschnittsweise mit einer Keramik beschichtet oder mit einem keramischen Einsatz versehen ist.

38. Metallschaumkörper nach Anspruch, mit einer allseitig geschlossen äußeren Oberfläche und einem davon umgebenen aus einem Metallschaum gebildeten Inneren.

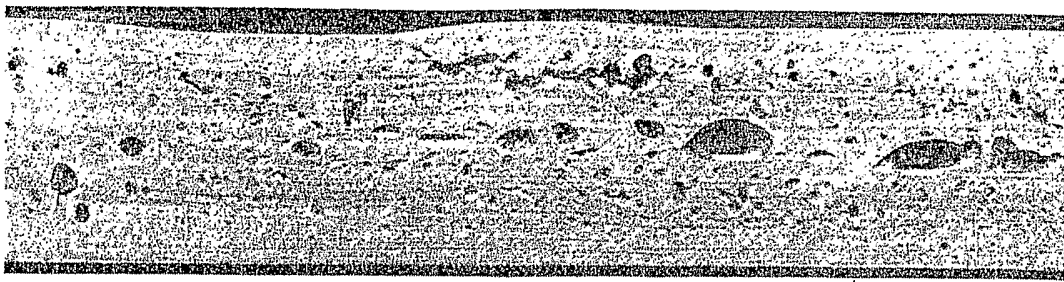


Fig. 1

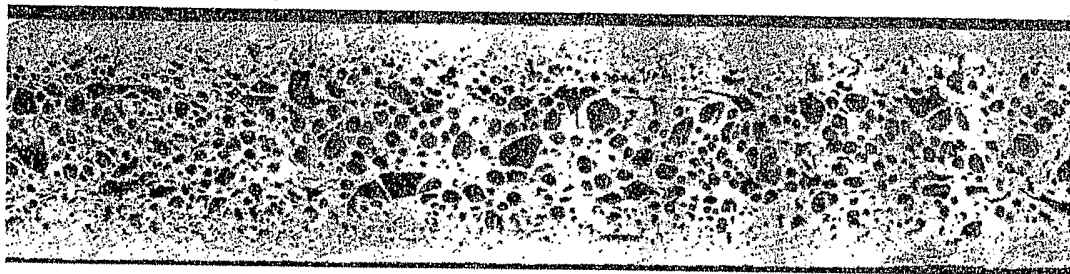


Fig. 2

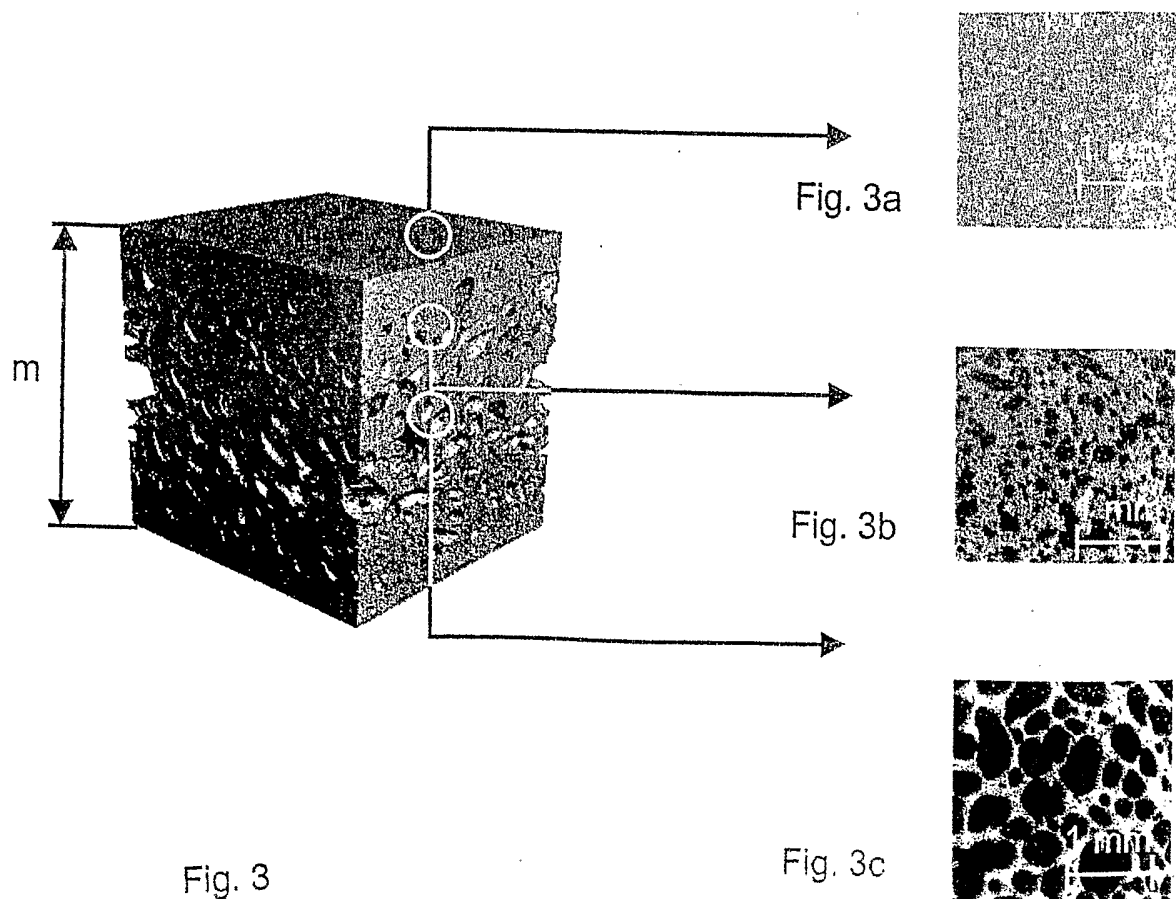


Fig. 3

Fig. 3c

2/6

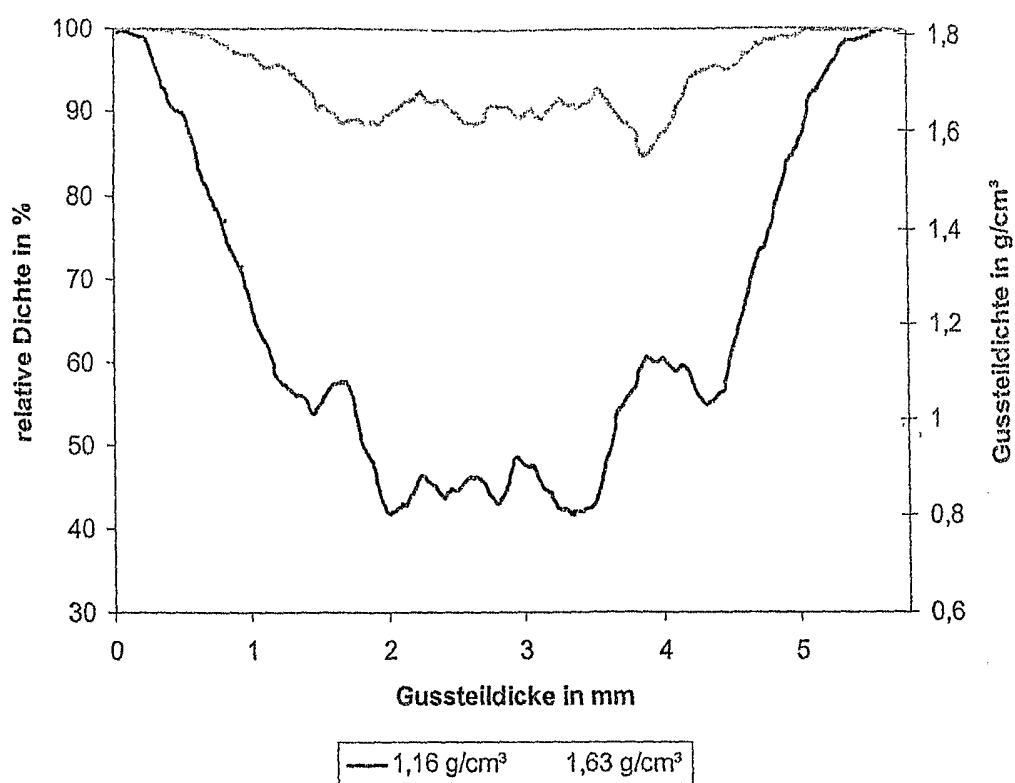


Fig. 4

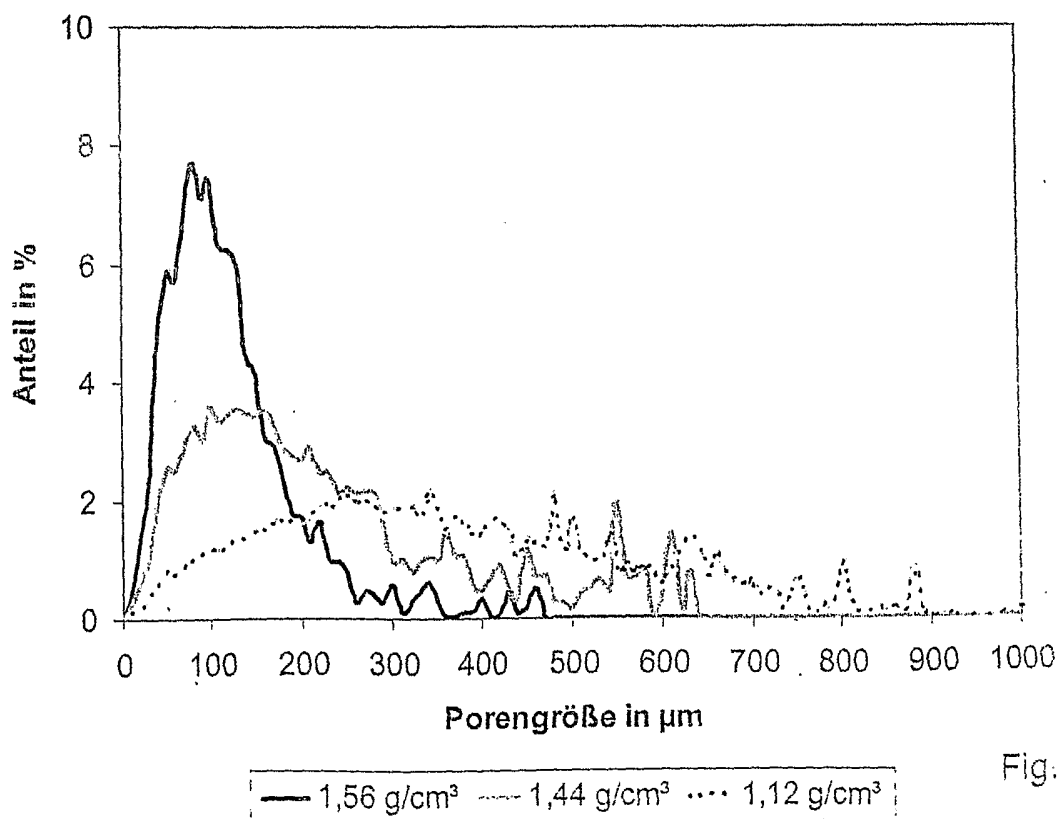


Fig. 5

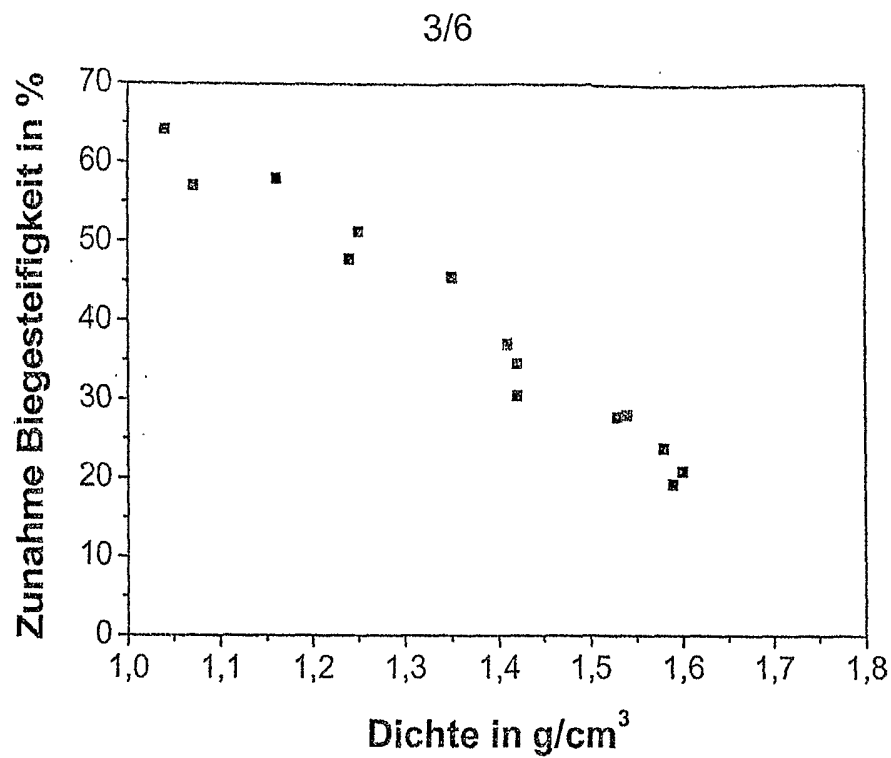


Fig. 6

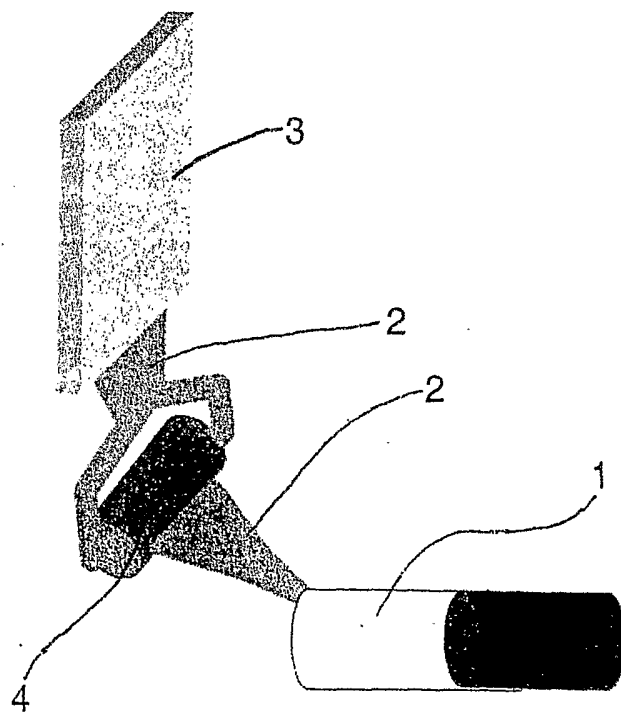


Fig. 7

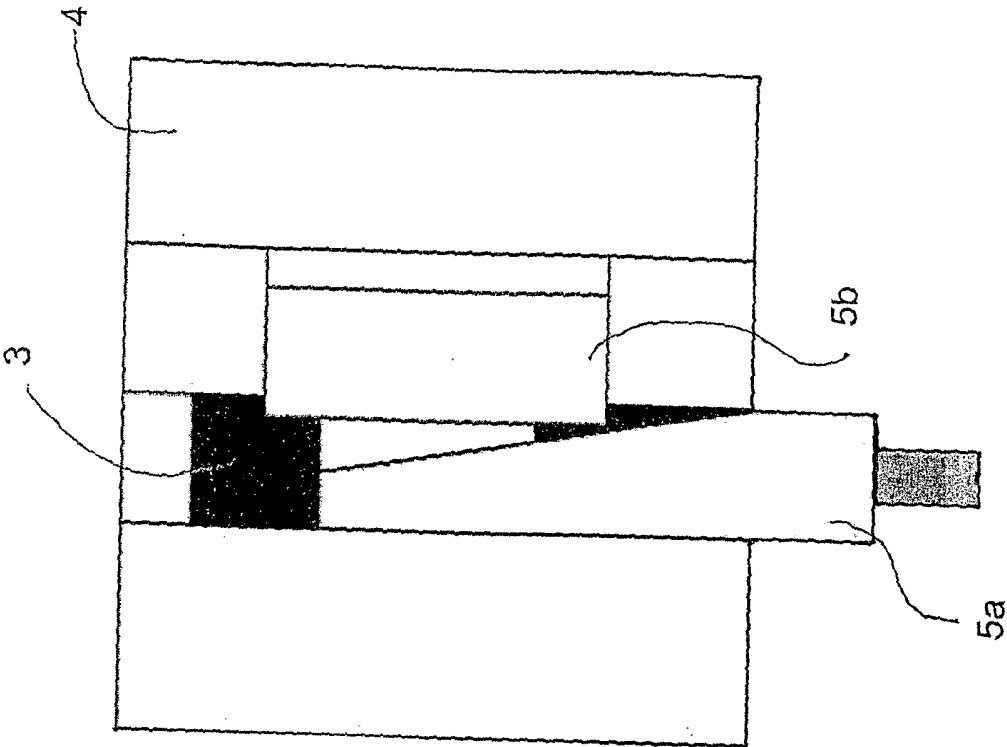


Fig. 8b

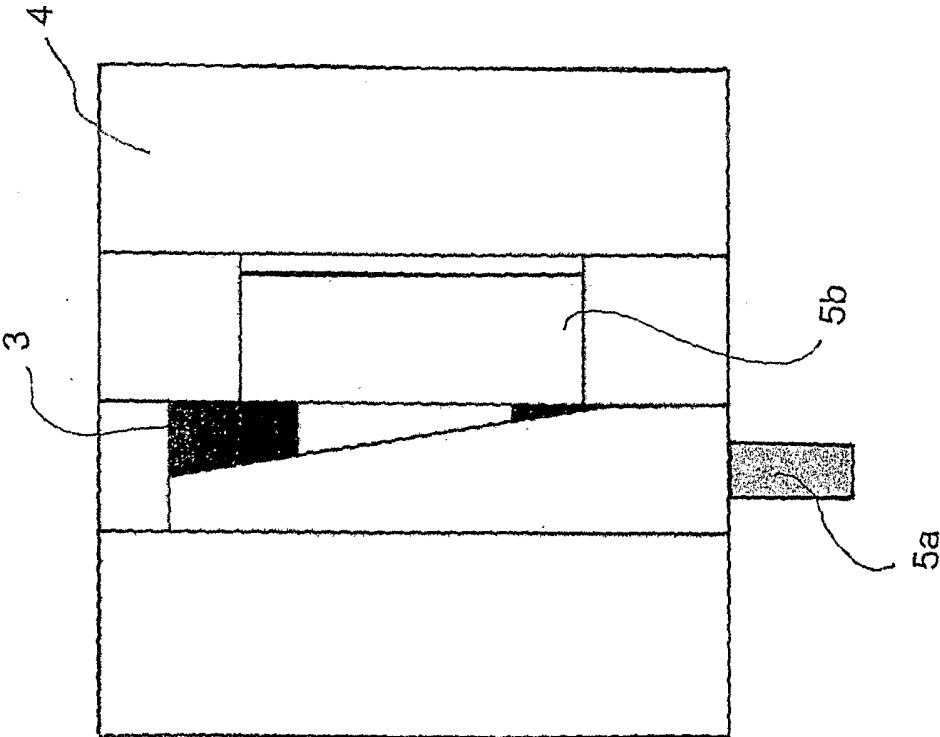


Fig. 8a

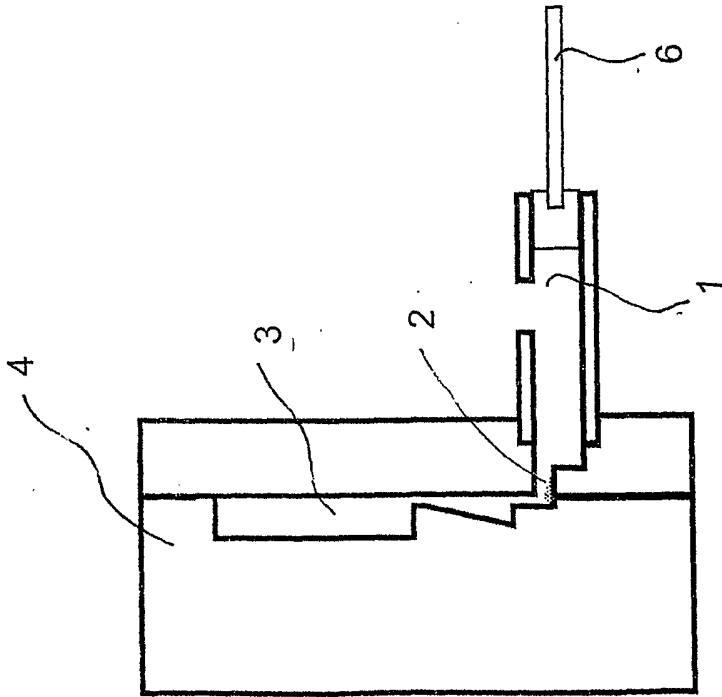


Fig. 9a

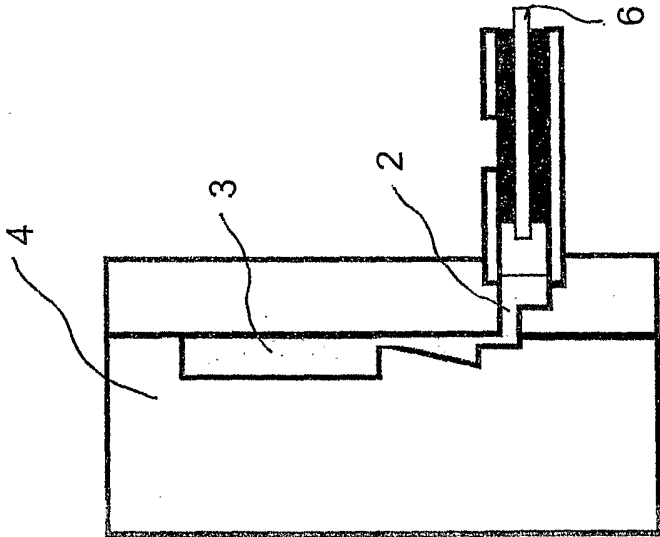


Fig. 9b

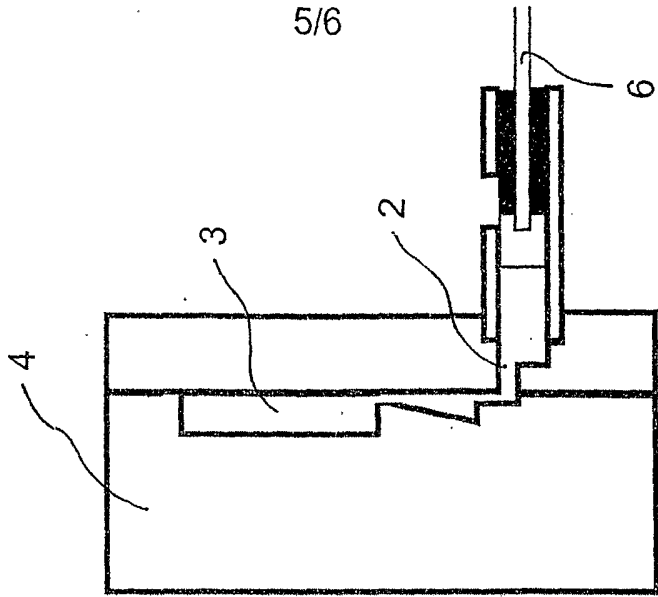


Fig. 9c

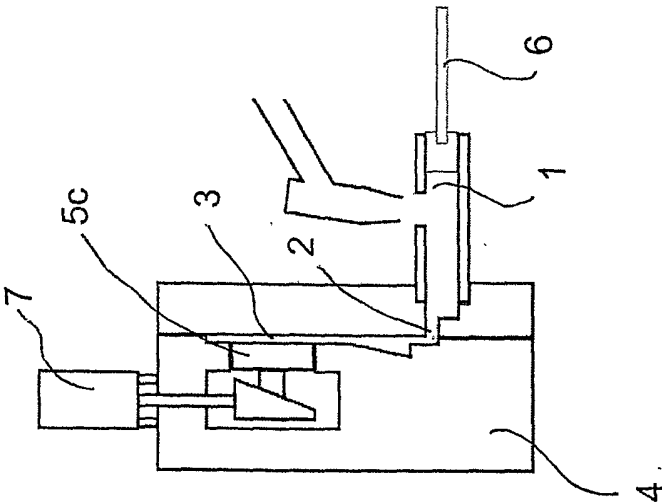


Fig. 10a

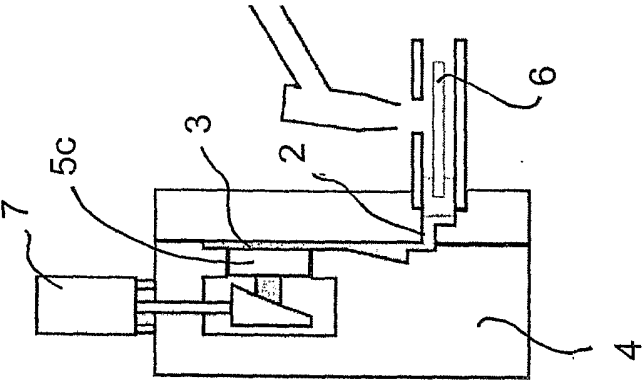


Fig. 10b

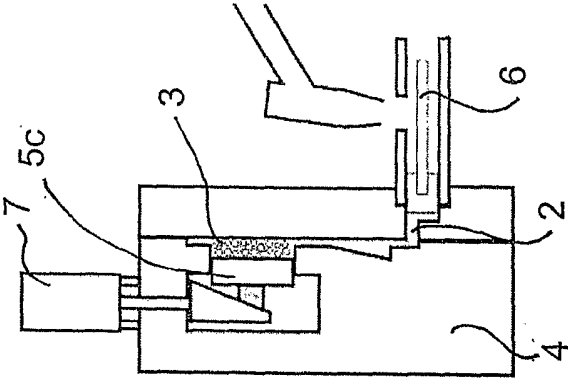


Fig. 10c