

(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
22. August 2002 (22.08.2002)

PCT

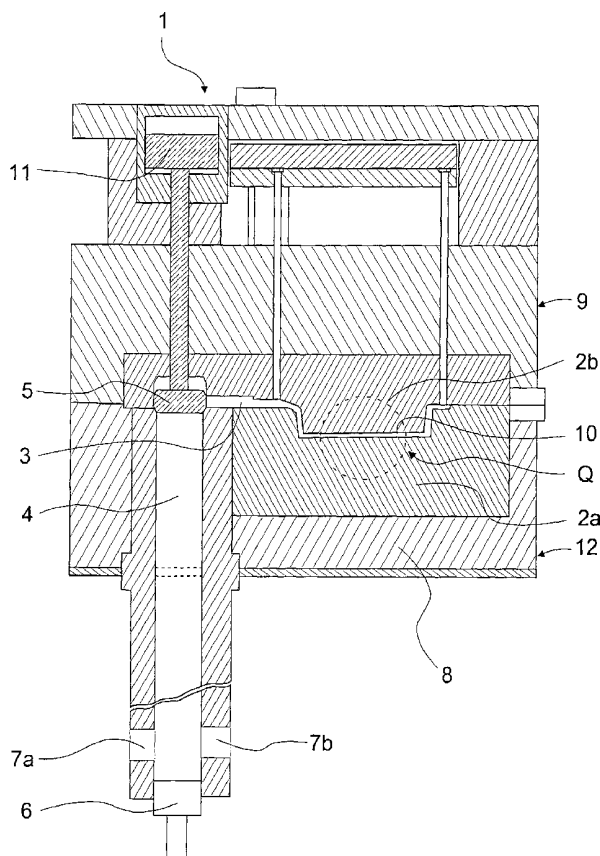
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/064285 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B22C 9/06** [CH/CH]; Badische Bahnhofstr. 16, CH-8212 Neuhausen am Rheinfall (CH).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/01119
- (22) Internationales Anmeldedatum: 4. Februar 2002 (04.02.2002)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
01810152.7 15. Februar 2001 (15.02.2001) EP
01810203.8 27. Februar 2001 (27.02.2001) EP
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ALCAN TECHNOLOGY & MANAGEMENT AG**
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **IMWINKELRIED, Thomas** [CH/CH]; Dorfstrasse 37, CH-8247 Flurlingen (CH).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **ALCAN TECHNOLOGY & MANAGEMENT AG**; Badische Bahnhofstrasse 16, CH-8212 Neuhausen am Rheinfall (CH).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CASTING MOULD

(54) Bezeichnung: GIESSFORM



(57) Abstract: The invention relates to a casting mould (1) comprising a die cavity (10) and a casting mould body which dissipates heat and forms said die cavity (10). Said casting mould is used for casting parts of metal according to a mould casting method and contains a coating (20) in the form of a coating body on the surface forming the die cavity (10). Said coating has a thickness of less than 5 mm. The coating body is made of a skeleton-shaped, highly porous solid body made of a heat-proof material exhibiting more than 50 % porosity and a thermal conductivity k to $k < 1$ W/mK.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Giessform (1) mit einem Formhohlraum (10) und einem die Wärme abführenden und den Formhohlraum (10) ausbildenden Giessformkörper zum Giessen von Gussteilen aus Metall im Formgiessverfahren. Die Giessform enthält an der den Formhohlraum (10) ausbildenden Oberfläche eine Beschichtung (20) in Form eines Schichtkörpers mit einer Dicke von weniger als 5 mm trägt, wobei der Schichtkörper aus einem skelettartig aufgebauten, hochporösen Festkörper aus einem wärmebeständigen Werkstoff mit einer Porosität von grösser als 50% und einer Wärmeleitfähigkeit k von $k \leq 1$ W/mK besteht.

WO 02/064285 A2



KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (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.

Giessform

Vorliegende Erfindung betrifft eine Giessform mit einem Formhohlraum und einem die Wärme abführenden und den Formhohlraum ausbildenden Giessformkörper zum Giessen von Gussteilen aus Metall sowie die Verwendung einer Giessform und ein Verfahren zur Herstellung einer Giessform.

Beim Formgussverfahren werden beispielsweise aus sogenannten Gusslegierungen direkt Guss- bzw. Formteile gegossen, wobei hierzu in der Regel sogenannte Dauerformen, d.h. wiederverwendbare Giessformen, eingesetzt werden.

Die Giessverfahren werden in Bezug auf die Art des Giessprozesses in verschiedene Kategorien aufgeteilt. So unterscheidet man zwischen den sogenannten Schwerkraftgiessverfahren, z.B. Kokillenguss, und den Druckgussverfahren. Während bei den Schwerkraftgiessverfahren die Metallschmelze allein durch die Schwerkraft in die Giessform fließt, wird die Schmelze im Druckgussverfahren mit Druckbeaufschlagung in die Giessform gepresst. Die zur Formfüllung angewendeten Drücke können dabei sehr hoch sein und beispielsweise bis 200 bar betragen, so dass die Metallschmelze richtig gehend in die Giessform hinein geschossen wird. Die für ein Formteil vorgesehene Metallschmelze wird hier in der Regel dosiert in der sogenannten Füllbüchse oder Giesskammer bereit gestellt und mittels eines Kolbens über den Angiesskanal in den Formhohlraum gepresst. Nach Erstarren der Metallschmelze kann die Giessform geöffnet und das Gussteil entnommen werden. Der Druckguss eignet sich insbesondere zur rationellen Fertigung von Grossserien, sowie zur Herstellung dünnwandiger Gussteile.

Bei den sogenannt modifizierten Druckgussverfahren wird der Formhohlraum der Giessform vor dem Einschliessen der Metallschmelze evakuiert bzw. es wird ein Unterdruck erzeugt. Solche Verfahren sind beispielsweise unter der Bezeichnung MFT-Verfahren (**M**inimum **F**illing **T**ime) oder Vacural-Verfahren bekannt.

Ferner kann auch eine Einteilung in Giessverfahren mit langsamer Füllung, wie z.B. Kokillenguss, Kippguss, Vakuumguss oder Niederdruckguss und in solche mit kurzer Füllzeit, wie Druckguss, Thixoguss oder Vacural vorgenommen werden.

Die Formgiessverfahren haben alle gemeinsam, dass der Wärmeabfluss aus der Metallschmelze bzw. dem Gussteil im wesentlichen über die Giessform erfolgt. Die Wärmeleitfähigkeit der für den Wärmeabfluss verantwortlichen Teile der Giessform beeinflusst somit den Ablauf eines Giessprozesses massgeblich. Neben der Wärmeleitfähigkeit der Giess-

form übt jedoch auch die sogenannte Trennfläche zwischen Giessform und Schmelze einen wesentlichen Einfluss auf den Wärmeaustausch aus. Der Einfluss der Trennfläche macht jedoch die Kontrolle über den Wärmeaustausch zwischen Metallschmelze und Giessform besonders schwierig.

- 5 Die Kontrolle des Wärmeaustausches zielt insbesondere darauf ab, dass die Giessform einerseits während des Formfüllvorganges der Schmelze möglichst wenig Wärme entzieht, damit die Fließfähigkeit der Schmelze erhalten bleibt und es nicht zu vorzeitiger Erstarrungen und somit zu einer unvollständigen Formfüllung kommt. Nach Abschluss des Füllvorganges soll jedoch andererseits, um kurze Zykluszeiten zu garantieren, in kurzer Zeit
10 möglichst viel Wärme durch die Giessform abgeführt werden, damit die Metallschmelze rasch zum Gussteil erstarrt und entformt werden kann. Die Giessform sollte deshalb einerseits gegenüber der Schmelze eine isolierende Wirkung entfalten und andererseits eine gute Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

- In komplexeren Giessverfahren, wie z.B. dem Druckguss, ist die Giessform in der Regel
15 vierteilig. Das eigentlich formgebende Werkzeugteil wird Formeinsatz genannt. Der Formeinsatz einer Giessform ist dadurch charakterisiert, dass er den Formhohlraum der Giessform ausbildet und die Wärme aus dem Formhohlraum abführen muss. Üblicherweise enthält der Formeinsatz auch einen sogenannten Angiesskanal, welcher in den Formhohlraum führt. Der Formeinsatz ist üblicherweise mehrteilig. In der Regel ist der Formeinsatz
20 zweiteilig und besteht aus zwei Formeinsatzhälften.

Neben dem Formeinsatz kann die Giessform z.B. auch eine Giesskammer, Kolbenvorrichtungen, Hydraulikvorrichtungen, eine Auswerfvorrichtungen und weitere Teile enthalten. Bei anderen Giessverfahren, wie z.B. dem Kokillenguss, besteht die Giessform wiederum in der Regel lediglich aus dem den Formhohlraum ausbildenden Teil.

- 25 Der Einfachheit halber wird nachfolgend das den Formhohlraum ausbildende und die Wärme abführende Bauteil der Giessform als Giessformkörper bezeichnet. Der Giessformkörper entspricht beispielsweise dem Formeinsatz einer Druckgiessform.

- Bei Giessverfahren mit langsamer Formfüllung werden in der Regel Giessformen bzw. Giessformkörper aus Grauguss verwendet. Die Giessformen werden üblicherweise an der
30 Trennfläche zum Formhohlraum mit einer isolierenden Schlichte überzogen, die ein vorzeitiges Erstarren der Schmelze verhindern soll. Die Schichten sind anorganische, feuerbeständige Stoffe mit sehr feiner Körnung. Bekannt sind z.B. sogenannte weisse Schichten aus Schlammkreide, Ton oder Kaolin oder schwarze Schichten aus Russ oder Graphit. Die

Schichten dienen neben der Regulierung des Wärmeüberganges auch der Verhinderung von chemischen Reaktionen zwischen Metallschmelze und Giessform. Ferner können die Schichten auch eine Schmierfunktion ausüben.

Die Schichten können wärmeleitend oder isolierend sein. Ferner können wärmeleitende
5 und isolierende Schichten in derselben Giessform zur Anwendung kommen. Dies ermöglicht eine begrenzte Kontrolle des Wärmeaustausches.

Bei ausreichender Dicke der isolierenden Schichte von z.B. über 0,5 mm wird der Wärmeaustausch nicht mehr durch die Trennfläche sondern ausschliesslich durch die Wärmeleitfähigkeit der Schichte beeinflusst, was eine bessere Kontrolle des Wärmeaustausches
10 erlaubt. Die Schichten sollten jedoch die Schichtdicke von 0,8 mm nicht überschreiten, da sonst die Neigung zu Ablätterungen erheblich zunimmt. Die Kontrolle der Wärmeabfuhr ist somit in der Praxis nur begrenzt möglich, da nicht beliebig grosse Schichtdicken angewendet werden können. Ablätternde Schichte kann zudem während der Formfüllung in die Schmelze gelangen und die mechanischen Eigenschaften des Gussteils beeinträchtigen.

15 Bei Giessverfahren mit kurzer Füllzeit bestehen die Giessformen bzw. die Giessformkörper in der Regel aus Stahl, insbesondere aus nitriertem Warmarbeitsstahl. In diesen Verfahren werden an der Trennfläche zum Formhohlraum sogenannte Trennmittel jedoch keine Schichten aufgebracht. Die Trennmittel sollen verhindern, dass die unter hohem Druck eingeschossene Metallschmelze an der Giessform kleben bleibt. Die Trennfläche zum
20 Formhohlraum muss dazu nach jedem Giessvorgang wieder von Neuem mit Trennmittel eingesprüht werden. Reste von Trennmitteln können beim Formfüllvorgang in die Schmelze übergehen und die Qualität der Gussteile mindern. Da solche Trennmittel in der Regel auf der Basis einer wässrigen Lösung aufgebracht werden, können durch das schnelle Einschliessen der Schmelze aufgrund von verdampfenden Lösungsmittelresten beim Kontakt
25 takt der Metallschmelze mit dem Trennmittel Gaseinschlüsse entstehen, welche die Qualität des Formteils merklich herabsetzen. Ferner kann das Trennmittel, insbesondere ein organisches Trennmittel, unter Gasbildung mit der Schmelze reagieren. Diese in der Schmelze mitgeführten Gase beeinträchtigen wiederum die mechanischen Eigenschaften und Schweissbarkeit der Gussteile.

30 Bei Giessverfahren mit kurzer Füllzeit kann der Wärmeaustausch zwischen Giessform und Metallschmelze nur unzureichend kontrolliert werden, da dieser massgeblich durch den Wärmeübergang an der Trennfläche bestimmt wird.

Der genannte Wärmeübergang an der Trennfläche wird durch den sogenannten Wärmeübergangskoeffizienten charakterisiert, welcher wiederum von vielen, schwer kontrollierbaren Faktoren wie Fließgeschwindigkeit der Schmelze, Beschaffenheit der Kontaktfläche, Spaltbildung, lokaler Druck oder Auswaschung des Trennmittels abhängt.

- 5 Der Kontrolle des Wärmeaustausches bei bekannten Giessformen sind folglich enge Grenzen gesetzt. Erschwerend kommt hinzu, dass der Wärmefluss zeitlich stark schwankt und unmittelbar nach Abschluss der Formfüllung sehr hohe Spitzenwerte erreicht. Die Temperaturen der Giessformoberflächen schwanken deshalb während den einzelnen Giesszyklen in der Regel zwischen 20°C und 500°C.
- 10 Der Wärmehaushalt der Giessformen wird üblicherweise einerseits durch Heiz- und/oder Kühlkanäle im Innern der Giessform und andererseits durch Besprühen und Ausblasen des Trennmittels nach dem Entformen reguliert. Wegen der, vergleichsweise zu Aluminium, schlechten thermischen Diffusität des Stahls unterliegt in der Regel eine 2-3 cm mächtige Zone an der Trennfläche zum Formhohlraum besonders grossen Temperaturschwankun-
- 15 gen. Aus oben genannten Gründen ist die Auswahl an geeigneten Werkstoffen zur Herstellung von Giessformen, insbesondere für Druckgussverfahren, beschränkt. So eignen sich bis anhin Giessformen aus Aluminium wegen der stark verringerten mechanischen Festigkeiten bei Temperaturen von über 200°C nicht für Giessformen. Ferner weist Aluminium einen zu Stahl vergleichsweise hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf, weswe-
- 20 gen Aluminium-Giessformen keinen hohen Temperaturschwankungen ausgesetzt werden können.

Der schwer kontrollierbare Wärmeaustausch zwischen Metallschmelze und Giessform bei herkömmlichen Giessformen wirkt sich negativ auf die Prozessführung und Reproduzierbarkeit der Abläufe aus. So ist es in der Regel notwendig bei Aufnahme eines Giessprozesses mit kontinuierlichen Giesszyklen bis zur Einstellung von stationären thermischen

25 Verhältnissen in der Giessform einige Abgüsse als Ausschuss zu produzieren. Stationäre thermische Verhältnisse bedeutet dabei, dass die ändernden thermischen Bedingungen über einen Giesszyklus bei den nachfolgenden Giesszyklen im wesentlichen gleich bleiben.

- 30 Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Giessform vorzuschlagen, welche eine bessere Kontrolle des Wärmeaustausches zwischen Metallschmelze und Giessform und den Einsatz von wärmeempfindlicheren Werkstoffen für Giessformen bzw. Giessformkörper erlaubt, wobei auf den Einsatz von Trennmitteln oder Schichten verzichtet werden soll.

Erfindungsgemäss wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass der Giessformkörper an der den Formhohlraum ausbildenden Oberfläche teil- oder vollflächig eine gegen flüssige Metallschmelze resistente Beschichtung in Form eines Schichtkörpers mit einer Dicke von weniger als 5 mm aufweist, und der Schichtkörper aus einem thermisch isolierenden, wärme-
5 schockbeständigen Material mit einer Wärmeleitfähigkeit k von $k < 1 \text{ W/mK}$ besteht.

Teilflächig bedeutet, dass der Schichtkörper auf einzelnen Flächenabschnitten der Formhohlraumoberfläche aufgebracht ist. Eine vollflächige Beschichtung deckt demgegenüber die gesamte Formhohlraumoberfläche ab.

Die Unteransprüche beschreiben weitere Ausführungsvarianten einer erfindungsgemässen
10 Giessform.

Der Schichtkörper besteht vorzugsweise aus einem porösen Material bzw. Festkörper, vorzugsweise aus einem hochporösen Material bzw. Festkörper mit einer Porosität von grösser als 50 Vol-%.

Die Beschichtung ist zweckmässig dauerhaft auf der besagten Oberfläche fixiert, d.h. die
15 Beschichtung bleibt über mehrere Giesszyklen hinweg funktionstüchtig erhalten. Es liegt jedoch im Rahmen der Erfindung, dass die Beschichtung nach Verlauf einiger Giesszyklen gegebenenfalls erneuert bzw. ausgebessert, jedoch nicht wie die Trennmittel vollständig von Neuem aufgebracht werden muss.

Der die Beschichtung ausbildende Schichtkörper misst vorzugsweise eine Dicke von weniger
20 als 2000 μm , besonders bevorzugt von weniger als 1000 μm , insbesondere von weniger als 500 μm , vorteilhaft von weniger als 200 μm , und von grösser als 0,1 μm , vorzugsweise grösser als 1 μm , insbesondere grösser als 5 μm .

Der Schichtkörper besteht zweckmässig aus einem dreidimensionalen, skelett- bzw. gerüstartigen Netzwerk aus miteinander verketteten Teilchen bzw. Partikeln einer Grösse von
25 vorzugsweise 1-50 nm, vorteilhaft 1-20 nm, und insbesondere 2-10 nm. Der Schichtkörper ist, bedingt durch die genannte Skelettstruktur, zu mehr als 50%, vorzugsweise mehr als 75%, und insbesondere mehr als 95%, offenporig, bezogen auf das gesamte Porenvolumen des Schichtkörpers.

Die Porengrössen, d.h. die Porendurchmesser, des Schichtkörpers können beispielsweise
30 bis 10 μm betragen. Die Porendurchmesser betragen mehr als 0 nm, vorzugsweise mehr als 0,5 nm, vorteilhaft mehr als 5 nm, insbesondere mehr als 10 nm und vorzugsweise weniger als 1000 nm, vorteilhaft weniger als 500 nm, und insbesondere weniger als 100 nm.

Die Porosität des Schichtkörpers beträgt vorzugsweise über 60 Vol.-% (Volumenprozent), vorteilhaft über 85 Vol.-%, und insbesondere über 90 Vol.-%, wobei die Volumenprozent sich auf das Gesamtvolumen des Schichtkörpers beziehen. Die Porosität kann sogar zwischen 95 und 99 Vol.-% liegen.

- 5 Die Poren sind bevorzugt mit einem gasförmigen Medium wie z.B. mit Luft gefüllt. Ferner können die Poren auch evakuiert sein. Die Dichte des Schichtkörpers liegt zweckmässig zwischen 10 und 1'000 kg/m³, vorzugsweise zwischen 10 und 600 kg/m³ und insbesondere zwischen 50 und 400 kg/m³.

Aufgrund der oben beschriebenen Struktur beträgt die Wärmeleitfähigkeit k des Schichtkörpers vorzugsweise weniger als 0,5 W/mK, besonders bevorzugt weniger als 0,1 W/mK, insbesondere weniger als 0,05 W/mK, und vorteilhaft weniger als 0,02 W/mK, wobei "W" für Watt und "K" für Kelvin und "m" für Meter steht. Sind die Poren des Schichtmaterials evakuiert, so kann die Wärmeleitfähigkeit 0,01 W/mK oder weniger betragen. Aufgrund der tiefen Wärmeleitfähigkeit des Schichtkörpers spielt der Wärmeübergang an der Trennfläche bei erfindungsgemässen Giessformen eine untergeordnete Rolle.

Der Wärmefluss durch den Schichtkörper wird vorzugsweise massgeblich durch Wärmeleitung bestimmt. Der Wärmaustausch über Konvektion ist von geringer Bedeutung, da die Wärme durch das in den Poren vorhandene Gas ausschliesslich mittels der wenig effizienten Diffusion transportiert wird.

- 20 Die Wärmeleitung über den Skelettkörper spielt bei einem transparenten Schichtkörper im Vergleich zur Wärmestrahlung bei zunehmender Schichtdicke eine immer kleinere Rolle. Da jedoch die Giesszyklen nicht allzu lang dauern und die Erstarrung des Gussteils nicht beliebig viel Zeit in Anspruch nehmen darf, sollte die Wärmeleitung ein bestimmtes Mass nicht unterschreiten und damit die Schichtdicke des Schichtkörpers eine bestimmte Mächtigkeit nicht überschreiten.

Beträgt z.B. die Temperatur T_1 an der der Schmelze zugewandten Oberfläche des Schichtkörpers 600°C und die Temperatur T_2 an der dem Giessformkörper zugewandten Oberfläche des Schichtkörpers 20°C, so sollte die Schichtdicke des Schichtkörpers bei einer Wärmeleitfähigkeit $k = 0,02$ W/mK desselben die Dicke von 1 mm nicht überschreiten.

- 30 Die Oberflächenrauigkeit des Schichtkörpers entspricht beispielsweise im wesentlichen derjenigen des Giessformkörpers und beträgt bei Stahlformen beispielsweise 10 - 100 µm.

Der Schichtkörper besteht vorzugsweise aus einem in einem Sol-Gel-Prozess hergestellten Material, in welchem eine kolloidale Lösung, das sogenannte Sol, z.B. mittels Hydrolyse/Polykondensation, in ein Gel und anschliessend mittels eines Trocknungsprozesses unter teilweiser oder vollständiger Beibehaltung der Gelstruktur in einen porösen Festkörper mit oben genannten Eigenschaften überführt wird.

Schichtmaterialien, welche den oben genannten Aufbau und Eigenschaften aufweisen sind die sogenannten Aerogels und Xerogels.

Nach einer enger gefassten Definition sind Aerogels in einem Sol-Gel-Verfahren hergestellte, hochporöse, gerüstartig bzw. skelettartig aufgebaute Festkörper von niedriger Dichte aus zu einem offenporigen Netzwerk miteinander verketteten Teilchen, wobei das Lösungsmittel unter Beibehaltung der ursprünglichen Gelstruktur mittels eines geeigneten Trocknungsprozesse, wie z.B. überkritisches Trocknen, aus dem Gel entfernt worden ist. Ein Aerogel zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass die Gerüststruktur nach dem Trocknungsprozess im wesentlichen unbeschädigt erhalten bleibt und das Volumen des Aerogels wenigstens 50%, und insbesondere mehr als 85% des ursprünglichen Volumens des Gels vor dem Trocknungsprozess beträgt.

Xerogels werden analog wie Aerogels hergestellt, nur werden diese unter Beibehaltung der ursprünglichen Gerüststruktur bei unterkritischen Bedingungen getrocknet, wobei das Gerüst in der Regel Risse aufweist und teilweise aufgebrochen ist. Das Xerogel zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass während des Trocknungsprozesses eine Schrumpfung des Gelkörpers von gegen 90% eintritt.

Überdies sind sogenannte Kryogels als mögliche Schichtkörpermaterialien bekannt, welche analog wie Aerogels oder Xerogels hergestellt werden, wobei die Entfernung der Flüssigkeit, d.h. der Trocknungsprozess, aus dem gefrorenen Zustand durch Sublimation des Lösungsmittels geschieht. Aufgrund der Volumenausdehnung des gefrorenen Lösungsmittels wird die ursprüngliche Gelstruktur in der Regel zerstört und die Porengrösse und -geometrie des Kryogels orientiert sich im wesentlichen am Kristallisationsmuster des Lösungsmittels.

Der Herstellungsprozess des Aerogels wie auch des Xerogels umfasst hauptsächlich zwei Schritte, nämlich den Sol-Gel-Prozess und den nachfolgenden Trocknungsprozess. Im Sol-Gel-Prozess wird eine wässrige oder alkoholische Sol-Lösung beispielsweise über Hydrolyse und Polykondensation in ein Gel überführt, in welchem sich Monomere zu einem dreidimensionalen, offenporigen Netzwerk oder Gerüst verketteten. Der pH-Wert der Lösung

spielt bei der Überführung des Sols in ein Gel eine massgebende Rolle. Durch Beigabe von basischen oder sauren Katalysatoren kann die Geschwindigkeit des Sol-Gel-Prozesses und ferner diverse Eigenschaften des Gelkörpers, wie z.B. die Verbindung der einzelnen Ketten, welche wiederum ausschlaggebend für die Wärmeleitfähigkeit und Elastizität des Gelkörpers ist, beeinflusst werden. Die Porosität des Gelkörpers wird durch die Konzentration von polymerisierbaren Monomeren in der Ausgangslösung bestimmt.

Da das dreidimensionale Netzwerk in der Regel keine geschlossenen Poren enthält, kann das durch das Netzwerk eingeschlossene Lösungsmittel unter Ausbildung eines offenporigen Gerüsts in einem Trocknungsprozess vollständig aus dem Gel extrahiert werden. Die Bedingungen, unter welchen der Trocknungsprozess ausgeführt wird, sind entscheidend dafür, ob ein Aerogel, d.h. ein Gelkörper aus einem stabilen, dreidimensionalen offenporigen Gerüst, ein Xerogel, ein Kryogel, ein Pulver, oder ein zu einem kompakten Endprodukt geschrumpfter Festkörper zurückbleibt.

Der Trocknungsprozess muss dergestalt ausgeführt werden, dass beim Extrahieren des Lösungsmittels aus den Porenräumen das Gelgerüst unter Einfluss und Zusammenwirken der auftretenden Kapillarkräfte und Oberflächenspannungen nicht kollabiert und zerbricht.

Der Trocknungsprozess eines Aerogels kann bei unterkritischen Bedingungen, z.B. Umgebungsbedingungen, oder unter sogenannten überkritischen Bedingungen stattfinden. Erfolgt die Trocknungsprozess bei unterkritischen Bedingungen, so muss durch besondere Behandlung und Modifikation des Gelkörpers, beispielsweise durch Einsatz von oberflächenmodifizierenden Substanzen, und/oder durch Auswechseln des Lösungsmittels, dafür gesorgt sein, dass der Gelkörper erhalten bleibt und keine oder eine nur geringe Schrumpfung eintritt.

Bei überkritischen bzw. hyperkritischen Bedingungen wird der Phasenübergang von flüssig zu gasförmig, bei welchem die grössten Kapillarkräfte auftreten, umgangen, indem das Gel in einen kritischen Zustand mit einem kritischen Druck P_c und einer kritischen Temperatur T_c überführt wird. Im kritischen Zustand (P_c , T_c) wird nicht mehr zwischen Flüssig- und Gasphase unterschieden, und entsprechend gibt es auch keinen Phasenübergang mehr. Die Dichte der Flüssigphase entspricht jener der Gasphase. In einem solchen Zustand herrschen keine Kapillarkräfte mehr.

Es sind auch Aerogels, insbesondere Kieselsäure-Aerogels (Silica-Aerogels) bekannt, die durch spezifische Modifikation des Festkörpergerüsts, beim Trocknungsprozess zu unterkritischen Bedingungen, d.h. mit Phasenübergang von flüssig zu gasförmig, durch Kraft-

einwirkung in sich zusammenklappen und nach Abschluss des Trocknungsprozesses durch einen sogenannten Rückfederungsprozess (spring back effect) wieder in die ursprüngliche Gerüststruktur zurück versetzt werden. Diese Kategorie der Aerogels eignet sich für erfindungsgemässe Giessformen besonders gut. Die rückfederenden Aerogels können so konzipiert sein, dass diese beispielsweise vor und zu Beginn des Formfüllprozesses vollständig aufgeklappt sind und eine maximale Porosität und minimale thermische Leitfähigkeit aufweisen. Durch den zunehmenden Formfüllungsdruck wird die Gerüststruktur im Laufe bzw. gegen Ende des Formfüllvorganges schrittweise oder kontinuierlich zusammengeklappt. Bedingt durch die abnehmende Porosität wird die Wärmeleitfähigkeit erhöht und der Wärmabfluss in die Giessform gefördert, wodurch die Erstarrung des Gussteils nach Abschluss des Formfüllvorganges beschleunigt und der Giesszyklus verkürzt wird. Nach dem Entformen klappt die Aerogelstruktur durch Druckentlastung wieder in die ursprüngliche hochporöse Skelettstruktur zurück und ein neuer Formfüllvorgang kann beginnen. Die Rückfederungseigenschaften setzen eine gewisse Elastizität des Aerogel-Gerüsts voraus, wodurch auch dessen Sprödigkeit im Vergleich zu anderen Materialien viel geringer ist.

Aerogels wie auch Xerogels können grundsätzlich aus jedem Monomer hergestellt werden, welches sich mittels Verkettungsvorgängen in ein Gel überführen lässt, wobei sich insbesondere Kohlenstoff, Metalle, Metalloxide sowie polymerisierbare, organische Stoffe dazu eignen.

Es sind beispielsweise sogenannte oxidische Aerogels bekannt, die z.B. über ein Sol-Gel-Verfahren aus Metalloxiden bzw. Metallalkoxiden hergestellt werden. Die Überführung des Sols in ein Gel kann z.B. durch Hydrolyse und Kondensation von Metall-Alkoxiden, wie Si- oder Al-Alkoxiden, durch Gelieren von partikulärem oder kolloidalem Oxid, wie Si- oder Al-Oxid oder einer Kombination dieser Methoden unter Mitwirkung basischer oder saurer Katalysatoren erfolgen. Die Flüssigkeit wird bevorzugt mittels überkritischer Trocknung aus dem Gel entfernt. Die oxidischen Aerogels können z.B. ZnO-, Fe₂O₃-, SiO₂-, Al₂O₃-, TiO₂-, ZrO₂-, SnO₂-, Li₂O-, CeO₂- oder V₂O₅-Aerogels oder Gemische davon sein. Die oxidischen Aerogels liegen bevorzugt in Form von Gemischt-oxidischen Aerogels vor. Beispiele von binären Mischoxid-Aerogelen sind ZnO/Al₂O₃-Aerogele, Fe₂O₃/SiO₂-Aerogels und insbesondere Al₂O₃/SiO₂-Aerogele.

Eine besondere Stellung nimmt die Kieselsäure-Aerogels ein, welche beispielsweise aus Si-Oxiden bzw. -Alkoxiden, Alkoxysilanen, wie Tetramethoxysilanen (TMOS), Tetraethoxysilane (TEOS) oder Alkalisilikate (Wasserglas), die mit einem beispielsweise alkoholischen Lösungsmittel ein Sol bilden, hergestellt werden. Kieselsäure-Aerogels können bei niedri-

gen Temperaturen von unter 100°C hergestellt werden, wodurch z.B. Eigenspannungsprobleme in der Aerogel-Schicht vermieden werden können. Die Herstellung von Si-haltigen Gelen wird beispielsweise in der WO 93/06044 beschrieben.

Die oxidischen Aerogels und insbesondere die Kieselsäure-Aerogels werden bevorzugt
5 unter überkritischen Bedingungen getrocknet.

Ferner sind auch Aerogels als organische Festkörper bekannt, die in der Regel über Sol-Gel-Verfahren aus, z.B. in einer wässrigen Lösung gelösten, organischen Polymeren, wie z.B. Melaminformaldehydharze, Resorcinformaldehydharze oder Phenol-Furfurale (Phenolic-furfural), unter Mitwirkung basischer oder saurer Katalysatoren durch Polymerisation,
10 Polykondensation und anschließender Trocknung hergestellt werden. Solche Aerogels werden auch Kunststoff-Aerogels genannt. Die Herstellung von organischen Gels wird z.B. in der US-A-5,086,085 und in der US-A4,873,218 beschrieben.

Die Kunststoff-Aerogels können in weiteren Schritten mittels Pyrolyse in Kohlenstoff-Aerogels überführt werden. Die Pyrolyse findet in der Regel unter Schutzgas, wie Argon
15 oder Stickstoff, oder im Vakuum und bei Temperaturen von über 600°C, insbesondere über 1000°C, statt.

Die Aerogels können, um beispielsweise eine Struktur zu schaffen, welche höheren Drücken während des Formfüllvorganges standhält, Füllstoffe enthalten. Solche Füllstoffe können beispielsweise anorganische Füllstoffmaterialien wie SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 oder Gemische
20 davon sein, die beispielsweise in einem Volumenanteil von 5 bis 30 Vol.-%, bezogen auf das Gesamtvolumen des Aerogelkörpers, in das Aerogel eingebracht werden. Ferner können auch organische Füllstoffe, wie beispielsweise thermoplastische oder duroplastische Kunststoffpartikel, z.B. Polystyrol, eingesetzt werden. Hierbei ist zu beachten, dass bei der Pyrolyse der Kunststoffgels diese Materialien mit ausgeschmolzen oder verbrannt werden.
25 Mit Hilfe solcher Materialien ist jedoch eine Kontrolle der Schrumpfung während der Pyrolyse möglich.

Setzt man dem Sol vor der Gelherstellung ein IR-Trübungsmittel, wie Russ, Titandioxid, Eisenoxide oder Zirkonoxid, zu, so kann überdies die Wärmeleitfähigkeit um den Strahlungsbeitrag reduziert werden. Ferner können zur Erzielung einer Färbung Farbstoffe
30 und/oder Farbpigmente zugesetzt werden.

Mögliche Kunststoff-Aerogels könne z.B. auf der Basis von Resorcin/Formaldehyd, die bei geeigneter Zusammensetzung und geeignetem Gehalt an basischem Polymerisationskatalysator, wie Ammoniumhydroxid und/oder Natriumcarbonat, bei Temperaturen zwischen

20 und 50°C ohne überkritisches Trocknen in ein mikrostrukturiertes Kunststoff-Aerogel überführt werden, hergestellt werden.

Die chemische und physikalische Beschaffenheit der Aerogels lässt sich allgemein durch die Ausgangsstoffe, ihre Gemisch und das Herstellungsverfahren in weiten Grenzen variieren und modifizieren, so dass es möglich ist, der Aufgabenstellung entsprechend massgeschneiderte Aerogels herzustellen.

Bevorzugt werden Kieselsäure- oder Mischoxid-Aerogels als Schichtkörpermaterialien eingesetzt. Kieselsäure-Aerogels zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass diese durch Metalle und Metalllegierungen nicht benetzt werden und beispielsweise durch die nachfolgend aufgeführten, giessbaren Metalle und Metalllegierungen chemisch nicht angegriffen werden.

Dünne Aerogel-Schichten von z.B. weniger als 50 µm können z.B. als Sol in fließfähigem Zustand mittels Streich-, Sprüh-, Walz-, Schleuder- oder Rakelverfahren, Tauchen, Fluten, Giessen, oder äquivalenten Verfahren auf die entsprechenden Giessformoberflächen aufgetragen und anschliessend ausgehärtet bzw. getrocknet werden. Ferner können die Aerogels, insbesondere bei Aerogel-Schichten von mehr als 50 µm, in Form von Folien hergestellt und auf die entsprechenden Giessformoberflächen aufgeklebt werden, wobei die Folie entsprechend der Oberflächentopographie vorgeformt werden kann. Der Klebstoff, vorzugsweise ein konventioneller Klebstoff, weist zweckmässig eine Wärmebeständigkeit auf, welche auf die an den Klebflächen während des Giessprozesses zu erwartenden Temperaturen und Temperaturschwankungen ausgerichtet ist. Wird die Giessform bzw. der Giessformkörper nicht auf über 100°C erwärmt, so eignet sich unter Umständen bereits ein Epoxy-Kleber-System. Insbesondere Kohlenstoff-Aerogels werden bevorzugt als Folien vorgefertigt, wahren z.B. Kieselsäure-Aerogels bevorzugt nach einer der eingangs erwähnten Methode direkt auf die Oberfläche der Giessform aufgebracht und ausgehärtet bzw. getrocknet werden.

Wird das Aerogel als Folie auf die Giessform aufgebracht, so kann die Schichtdicke in einem Bereich von 50-200 µm liegen. Wird das Aerogel als Sol auf die Giessform aufgebracht und anschliessend ausgehärtet bzw. getrocknet, so kann die Schichtdicke in einem Bereich von 5-20 µm liegen.

Ein typisches Kieselsäure-Aerogel besteht beispielsweise aus miteinander vernetzten Teilchen, mit einem Durchmesser von 2-5 nm, wobei das Porenvolumen 95% oder mehr des

Gesamtvolumens des Schichtmaterials ausmacht. Der Porendurchmesser beträgt rund 15-25 nm.

Die Giessform bzw. der Giessformkörper besteht zweckmässig aus einem Material mit guter Wärmeleitfähigkeit, wobei das Material bei Temperaturen von bis zu 300°C, vorzugsweise bis 200°C und insbesondere bis 150°C wärmebeständig sein soll, d.h. das Material soll bis zu den genannten Temperaturwerten keine wesentlichen Beeinträchtigung in seinen mechanischen Eigenschaften erfahren. Die Giessform bzw. der Giessformkörper besteht vorzugsweise aus einem Metall. Die Giessform bzw. der Giessformkörper kann z.B. aus einem Eisenmetall, wie Stahl oder einem nicht-Eisenmetall, wie Kupfer, Magnesium oder einer Legierung, enthaltend wenigstens eines der genannten Metalle, bestehen. Die Giessform bzw. der Giessformkörper besteht jedoch vorteilhaft aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung. Unter guter Wärmeleitfähigkeit im oben genannten Sinne sind Wärmeleitfähigkeiten von gleich oder mehr als 30 W/mK, vorzugsweise von mehr als 100 W/mK, und insbesondere von mehr als 150 W/mK, zu verstehen.

Die Oberfläche, insbesondere die mit einer erfindungsgemässen Beschichtung versehene Oberfläche der Giessform kann vor Auftrag des Schichtkörpers bzw. des Aerogels einer Vorbehandlung unterzogen und beispielsweise mit einem Haftvermittler oder Primer versehen werden. Die genannte Oberfläche einer Giessform oder eines Giessformkörpers aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung kann beispielsweise eine durch Chromatierung, Phosphatierung oder durch anodische Oxidation erzeugte Vorbehandlungsschicht aufweisen.

Die Vorbehandlungsschicht kann z.B. eine anodisch erzeugte Oxidschicht, die in einem rücklösenden oder nicht rücklösenden Elektrolyten aufgebaut wurde, sein. Ferner kann die Vorbehandlungsschicht eine Gelbchromatierschicht, eine Grünchromatierschicht, eine Phosphatschicht oder eine chromfreie Vorbehandlungsschicht, die in einem Elektrolyten, enthaltend wenigstens eines der Elemente Ti, Zr, F, Mo oder Mn, aufgewachsen ist, sein. Die Vorbehandlungsschicht kann auch eine durch natürliche Oxidation erfolgte Oxidschicht sein.

Die Vorbehandlungsschicht kann eine Dicke von über 20 nm, vorzugsweise über 50 nm, insbesondere über 100 nm, und vorteilhaft über 150 nm (Nanometer) und von weniger als 1500 nm, und bevorzugt weniger als 200 nm, aufweisen.

Als Vorbehandlung kann auch, alleine oder in Kombination mit oben genannten Vorbehandlungen, ein Entfetten oder ein mechanischer Oberflächenabtrag durch abrasive Mittel

angewendet werden. Ein mechanischer Oberflächenabtrag kann durch Schleifen, Strahlen, Bürsten oder Polieren geschehen.

Die erfindungsgemässe, gegebenenfalls auf eine oben genannt vorbehandelte Oberfläche aufgetragene Beschichtung, kann auch an der den Angiesskanal und/oder die Giesskammer ausbildenden Hohlraumoberfläche einer Giessform, insbesondere Druckgiessform, teil- oder vollflächig vorgesehen sein.

Die Giessform bzw. der Giessformkörper kann Mittel zum Kühlen und/oder Heizen derselben enthalten. Die Giessform kann insbesondere Heiz- und/oder Kühlkanäle enthalten, in welchen ein gasförmiges oder flüssiges Heiz- und/oder Kühlmedium, wie z.B. Öl, zirkuliert.

10 Die Erneuerung bzw. Reparatur einer beschädigten oder abgetragenen Beschichtung kann beispielsweise durch Auftragen einer Aerogelschicht in flüssiger bis gelartiger Form nach einer der oben genannten Methode in Situ und Aushärtung bzw. Trocknung unter unterschritischen Bedingungen bei Temperaturen von unter 200°C, insbesondere unter 100°C, erfolgen. Ferner kann die neue Aerogelschicht auch in Form einer Folie auf die Oberfläche
15 aufgeklebt werden. Falls notwendig können bestehende Aerogelschichten mittels Säure, wie z.B. Flusssäure, weggeätzt und anschliessend erneuert werden.

Die erfindungsgemässe Giessform eignet sich insbesondere zum Giessen von Aluminium, Magnesium, Titan oder Legierungen, enthaltend wenigstens eines der genannten Metalle. Besonders geeignete Aluminiumlegierungen sind z.B. AlSi, AlSiMg und AlCu. Ferner eignet
20 sich die erfindungsgemässe, mit einem Aerogel, insbesondere mit einem Kieselsäure-Aerogel, beschichtete Giessform auch zum Giessen von Zinn und Zinnlegierungen, Kupfer und Kupferlegierungen bzw. Bronzelegierungen, Blei und Bleilegierungen, Zink und Zinklegerungen, Silber und Silberlegierungen sowie Gallium und Galliumlegierungen. Weitere Metalle, die sich mit der erfindungsgemässen Giessform giessen lassen, sollen durch vor-
25 liegende Aufzählung nicht ausgeschlossen sein.

Mit der erfindungsgemässen Giessform können gegebenenfalls auch schlecht giessbare Legierungen, wie z.B. Knetlegierungen, in Formgiessverfahren gegossen werden.

Durch die thermische Isolation der Giessform wird der Wärmeabfluss aus der Schmelze verzögert und die Metallschmelze kühlt insbesondere während des Formfüllvorganges we-
30 niger schnell ab. Die Metallschmelze weist deshalb im Vergleich zu herkömmlichen Giessformen während des Formfüllvorganges eine verbesserte Fließfähigkeit auf. Die aktive Aufheizung der Giessform auf Temperaturen von über 150°C ist nicht mehr notwendig, wodurch Energie gespart werden kann. Die Giessform bzw. der Giessformkörper, z.B. aus

Aluminium, kann beispielsweise während des Giesszykluses Minimaltemperaturen von 10 bis 30°C aufweisen.

Die Bemessung der Dicke des Schichtkörpers ist in Abhängigkeit von dessen Wärmeleitfähigkeit vorzugsweise derart ausgelegt, dass die Temperatur im Giessformkörper an der
5 Grenzfläche zum Schichtkörper während des Giessprozesses nicht über 200°C, vorzugsweise nicht über 150°C, und insbesondere nicht über 120°C, steigt.

Die Bemessung der Dicke des Schichtkörpers ist in Abhängigkeit von dessen Wärmeleitfähigkeit vorzugsweise derart ausgelegt, dass die Erstarrungszeit des Gussteils nach Abschluss des Formfüllvorganges weniger als 6 sec., vorzugsweise weniger als 4 sec., insbe-
10 sondere weniger als 3 sec., beträgt.

Da die Maximaltemperaturen der Giessform bzw. des Giessformkörpers während des Giesszykluses geringer sind, ist ein Entspannungsglühen der Giessform nicht mehr in allen Fällen notwendig.

Das thermische Gleichgewicht ist ferner bereits beim Anfahren eines Giessprozesses ge-
15 geben, womit die Produktion von Ausschuss zu Beginn des Giessprozesses reduziert werden kann. Die Wechselzeit der Giessformen bzw. der Giessformkörper sind verkürzt, da diese beim Wechseln weder gekühlt noch aufgeheizt werden müssen.

Die bessere Fließfähigkeit ist zu einem weiteren Teil auch auf die geringere Reibung der Metallschmelze an der Oberfläche des Schichtkörpers zurückzuführen. Bedingt durch die
20 hohe Porosität im Nanometerbereich, kommt die Aluminiumschmelze nur punktwise mit der Oberfläche des Schichtkörpers in Kontakt. Die Oberflächenspannung der Schmelze sorgt dafür, dass die Schmelze nicht in die Poren des Schichtkörpers eindringt. Die mechanischen Belastungen, insbesondere bei Druckgussverfahren, sind dank der ausgezeichneten Fließfähigkeit der Metallschmelzen bis zum Abschluss der Formfüllung we-
25 sentlich kleiner, d.h. aufgrund der guten Fließfähigkeit kann die Giessform mit geringerem Druck gefüllt werden als bisher.

Ferner ist aufgrund des punktwisen Kontaktes die Haftfläche zwischen dem Gussteil und der Giessform klein, die Entformungskräfte sind entsprechend gering und es tritt keine Be-
30 netzung der Giessformoberfläche durch die flüssige Metallschmelze auf, weswegen auf den Einsatz von Trennmitteln bzw. Schichten verzichtet werden kann.

Dank der besseren und längeren Fließfähigkeit der Metallschmelze und der verzögerten Erstarrung können Gussteile mit komplizierten geometrischen und dünnwandigen Struktu-

ren hergestellt werden. Ferner kann durch Variation in der Dicke der Beschichtung innerhalb derselben Giessform der Wärmeabfluss lokal gesteuert werden. So können beispielsweise bei dünnwandigen Bereichen des Gussteils in der Giessform grössere Schichtdicken vorgesehen sein, um hier den Wärmeabfluss zu verzögern. Bei dickwandigen Bereichen des Gussteils können in der Giessform kleinere Schichtdicken vorgesehen sein, um hier den Wärmeabfluss zu beschleunigen und die Zykluszeit zu verkürzen. Generell kann durch Variation der Schichtdicke das Zeitfenster für die Formfüllung innerhalb der vorgegebenen Randbedingungen beliebig bestimmt werden. Randbedingungen sind beispielsweise die Verhinderung einer Vorerstarrung der Schmelze vor Abschluss der Formfüllung, sowie maximale Formfüllzeiten die noch einen wirtschaftlichen Produktionsablauf erlauben.

Die erfindungsgemässe Giessform findet vorzugsweise Verwendung in einer Giessvorrichtung zum Herstellen von Gussteilen aus Metall in einem Formgiessverfahren. Die erfindungsgemässe Giessform ist in Giessvorrichtungen für alle eingangs im Stand der Technik erwähnten Formgiessverfahren, jedoch insbesondere für Vakuumguss-, Niederdruckguss- und Druckgussverfahren verwendbar. Die erfindungsgemässe Giessform ist vorzugsweise eine Dauerform. Die erfindungsgemässe Giessform kann auch in Formatgiessverfahren Einsatz finden. Weitere nicht genannte Giessverfahren sollen vom Einsatz erfindungsgemässer Giessformen nicht ausgenommen sein.

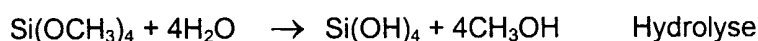
Der Einsatz von erfindungsgemäss beschichteten Aluminium-Giessformen erlaubt wegen dem reduzierten Gewicht eine einfachere Handhabung.

Die vorstehenden Ausführungen zur Herstellung und zum Einsatz von Aerogels als Schichtkörper mit Ausnahme der Aerogel-spezifischen Trocknungsprozesse sollen auch für Xerogels gelten.

Nachfolgend werden je ein Beispiel zur Herstellung eines Kieselsäure-, eines Kunststoff- und eines Kohlenstoff-Aerogels aufgeführt.

Beispiel 1:

Tetramethoxysilan (TMOS) wird in Methanol aufgelöst und unter Beigabe von Wasser zu einem Sol aufgerührt. Nachfolgend wird kontinuierlich ein saurer oder basischer Katalysator, wie NH_4OH , NaOH , KOH , $\text{Al}(\text{OH})_3$ und/oder kolloidale Kieselsäure, der Lösung hinzugegeben, wodurch die Hydrolyse und Polykondensation einsetzt:





Das Verhältnis von TMOS zu Methanol bestimmt die Dichte des fertigen Aerogels, während die Menge an zugegebenem Wasser und Katalysator, wie auch die Wahl des Katalysators, die Morphologie des Aerogel-Skelettes bestimmen.

- 5 Das noch immer niederviskose Sol kann auf die Oberfläche des Formhohlraumes der Giessform aufgetragen werden. Der nachfolgende Übergang vom Sol zu einem Gel kann wenige Sekunden, z.B. bei hohen Konzentrationen von TMOS und stark basischen Bedingungen, bis mehrere Minuten, z.B. für niedrigere Konzentrationen an TMOS und weniger basischen Bedingungen, dauern. Nachfolgend wird das Gel zu einem Kieselsäure-Aerogel
- 10 getrocknet. Das Gel kann, um beispielsweise die Gelfestigkeit zu erhöhen, in einem Zwischenschritt vor dem Trocknungsprozess einer Alterung unterzogen werden. die Alterung des Gels findet in der Regel bei einer Temperatur von rund 20°C bis zum Siedepunkt des Lösungsmittels statt. Die Dauer der Alterung kann von wenigen Minuten bis mehreren Stunden dauern.

15 Beispiel 2:

- Resorcinol, z.B. als Granulat vorliegend, wird in Formaldehyd in einem Mol-Verhältnis von 1:2 aufgelöst. Zur Lösung wird unter kontinuierlichem Rühren Wasser und Natriumcarbonat als Katalysator zugegeben. Die vorliegende Lösung wird auf die Oberfläche des Formhohlraums aufgetragen. Das Gel kann vor dem Trocknungsprozess einer Alterung bei konstanter
- 20 Temperatur ausgesetzt werden. Vor dem Trocknungsprozess wird das Wasser in den Poren des gealterten Gels durch ein organisches Lösungsmittel wie Aceton ersetzt.

- Die Dichte des Kunststoff-Aerogel wird durch die Konzentration an Resorcinol-Formaldehyd (RF) in der Ausgangslösung bestimmt. Ferner bestimmt das Mol-Verhältnis R/K von Resorcinol (R) zu Katalysator (K) die Reaktionsgeschwindigkeit und somit die
- 25 Morphologie des Aerogel-Skelettes.

- Um ein Schrumpfen des Gel-Körpers zu vermeiden müssen RF-Gels mit einem niedrigen R/K-Verhältnis bei überkritischen Bedingungen getrocknet werden, während organische Gels mit niedriger Konzentration an Katalysator, das heisst mit einem hohen R/K-Verhältnis, bei unterkritischen Bedingungen, z.B. bei Umgebungsdruck von 1 bar und einer
- 30 Temperatur von 50°C, getrocknet werden können, wobei die Schrumpfung lediglich einige wenige Prozent beträgt.

Beispiel 3:

Durch Pyrolyse des in Beispiel 2 erhaltenen Kunststoff-Aerogel bei über 600°C und einer maximalen Temperatur von rund 1050°C unter kontinuierlicher Belüftung mit einem nicht-oxidativen Gas, wie Argon oder Stickstoff, wird das organische Aerogel-Gerüst unter Beibehaltung seiner Morphologie in ein Kohlenstoff-Gerüst umgewandelt. Durch Variation der
5 Temperatur kann die Porosität des entstehenden Kohlenstoff-Aerogels beeinflusst werden. Die Porosität kann ferner durch Einbezug eines oxidativen Gases oder durch Zirkulation einer Kohlenwasserstoffverbindung beeinflusst werden.

Die erfindungsgemässe Giessform ist herstellbar dadurch, dass die Beschichtung als Sol im fließfähigen Zustand auf die Oberfläche des Formhohlraumes der Giessform aufgetragen und mittels Kondensation in ein Gel umgesetzt und mittels Trocknung zu einem festen
10 Schichtkörper umgewandelt wird oder die Beschichtung als Folie auf die Oberfläche des Formhohlraumes der Giessform aufgebracht und, vorzugsweise mittels Kleben, fixiert wird.

In bevorzugter Ausführung des Verfahrens wird die Beschichtung mittels Streichen, Sprühen, Walzen, Schleudern, Rakel, Tauchen, Fluten oder Giessen auf die Oberfläche des
15 Formhohlraumes der Giessform aufgetragen.

Besteht der Giessformkörper aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung, so kann auf die die Beschichtung tragende Oberfläche aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung vor Auftrag der Beschichtung eine mittels Anodisation, Chromatierung oder Phosphatierung erzeugte Vorbehandlungsschicht aufgetragen werden.

20 Im folgenden wird die erfindungsgemässe Giessform beispielhaft und mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a: eine Giessform einer Druckgussvorrichtung;

Fig. 1b: einen Ausschnitt des Formhohlraumes gemäss Fig. 1a;

Fig. 2: eine graphische Darstellung des Wärmeflusses aus der Metallschmelze in die
25 Giessform für verschiedene Giessformen.

Fig. 1a zeigt die schematische Darstellung der Giessform 1 einer Druckgussvorrichtung. Die Giessform 1 enthält eine fixierte erste Formhälfte 12 mit einem auf einer Formplatte 8 angebrachten ersten Formeinsatz 2a und einer beweglichen zweiten Formhälfte 9 mit einem zweiten Formeinsatz 2b. Die zweite, bewegliche Formhälfte 9 mit dem zweiten Formeinsatz 2b passt im geschlossenen Zustand unter Ausbildung eines Formhohlraumes 10
30 auf die erste Formhälfte 12.

Die Giessform 1 enthält ferner eine Giesskammer 4 mit einem in dieser geführten Kolben 6. Die Giesskammer 4 enthält Zufuhröffnungen 7a, 7b, durch welche die Metallschmelze in die Giesskammer 4 geführt wird. Die Giesskammer 4 steht über den Angiesskanal 3 mit dem Formhohlraum 10 in Verbindung. Die Giesskammer 4 ist gegenüber dem Angiesskanal 3 mittels eines Ventils 5 verschliessbar. Das Ventil 5 ist über eine Hydraulikeinrichtung 11 mit Kolbenstange steuerbar. Der Formhohlraum 10 verfügt ferner über einen oder mehrere Entlüftungskanäle (nicht gezeigt). Der oder die Entlüftungskanäle können überdies mit einer Einrichtung zur Erzeugung eines Unterdruckes bzw. Vakuums mit entsprechenden Vakuumabsperrventilen ausgerüstet sein (nicht gezeigt). Dies erlaubt die Evakuierung des Formhohlraumes 10 vor dem Einspritzen der Metallschmelze.

Der in Fig. 1b gezeigte schematische, kreisförmige Ausschnitt Q des Formhohlraumes 10 ist in Fig. 1a gestrichelt angedeutet. Der Formhohlraum 10 wird durch den ersten Formeinsatz 2a und den zweiten Formeinsatz 2b ausgebildet. Die beiden Formeinsätze 2a, 2b enthalten jeweils einen Grundkörper 21, 22 aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung, welcher an der zum Formhohlraum 10 zugewandten Oberfläche eine dauerhaft fixierte Beschichtung 20 aus einem Aerogel, vorzugsweise einem Kieselsäure-Aerogel, einer Dicke von 10 - 100 μm aufweist. In modifizierter Ausführung vorliegenden Erfindungsbeispiels können auch der Angiesskanal 3 und/oder die Giesskammer 4 eine genannte Beschichtung aus einem Aerogel der genannten Dicke enthalten.

Fig. 2 zeigt den zeitlichen Verlauf eines modellierten Wärmeflusses aus einer Aluminiumschmelze mit einer Temperatur von 660°C in eine Giessform. Y steht für den Wärmefluss [W/m^2] und X für die Zeit [s] in Sekunden. Gegossen wird eine Gussplatte aus Aluminium einer Dicke von 5 mm.

Die Kurve A repräsentiert den modellierten Verlauf des Wärmeflusses in eine Giessform aus Aluminium, welche auf eine Ausgangstemperatur von 20°C vorgewärmt wurde. Die Kurve B zeigt den modellierten Wärmefluss durch eine Giessform aus Stahl, welche auf eine Ausgangstemperatur von 200°C vorgeheizt wurde. Die Kurve C zeigt den modellierten Verlauf des Wärmeflusses in eine Giessform aus Aluminium, welche auf eine Ausgangstemperatur von 20°C vorgewärmt wurde, wobei die Giessform zum Formhohlraum hin eine Beschichtung aus einem Kieselsäure-Aerogel mit einer Wärmeleitfähigkeit von $k=0,02$ W/mK und einer Dicke von 10 μm enthält. Die Kurve D zeigt den modellierten Verlauf des Wärmeflusses in eine Giessform aus Aluminium, welche auf eine Ausgangstemperatur von 20°C vorgewärmt wurde, wobei die Giessform zum Formhohlraum hin eine Beschichtung

aus einem Kohlenstoff-Aerogel mit einer Wärmeleitfähigkeit von $k=0,02$ W/mK und einer Dicke von $100\ \mu\text{m}$ enthält.

Der Verlauf der einzelnen Kurven A-D zeigt, wie durch die Aerogel-Beschichtung der Giessform der maximale Wärmefluss durch die Giessform zu Beginn des Giessprozesses
5 sowohl gegenüber der reinen Aluminium- als auch gegenüber der reinen Stahlgliessform markant reduziert wird. Dies bedeutet, dass sich die mit einem Aerogel beschichtete Giessform auf wesentlich tiefere Maximal-Temperaturen erwärmt und die Metallschmelze weniger schnell abkühlt. Bei der Kurve C nimmt der Wärmefluss im Vergleich zu Kurve A und B im Zeitverlauf jedoch weniger schnell ab und liegt nach einer bestimmten Zeit sogar
10 über dem Wärmefluss der Kurven A und B. Es findet also eine Verteilung des Wärmeflusses mit flachem Verlauf über die Zeit statt. Der Wärmefluss in der Giessform mit einer dickeren $100\ \mu\text{m}$ Aerogel-Schicht (Kurve D) bleibt im Vergleich zu den anderen drei Kurven A, B und C über den gesamten Zeitraum hinweg vergleichsweise tief.

Die nachfolgende Tabelle 1 enthält Werte für die Erstarrungszeiten in Sekunden und die
15 maximal erreichten Giessformtemperaturen beim Giessen einer Aluminiumplatte einer Dicke von $2\ \text{mm}$ resp. $5\ \text{mm}$ bei Verwendung einer auf 200°C vorgeheizten Stahlgliessform, einer auf 20°C vorgewärmten Aluminiumgiessform, einer auf 20°C vorgewärmten Aluminiumgiessform mit einer $10\ \mu\text{m}$ dicken Aerogel-Beschichtung und einer auf 20°C vorgewärmten Aluminiumgiessform mit einer $100\ \mu\text{m}$ dicken Aerogel-Beschichtung. Beide Aero-
20 gel-Beschichtungen weisen eine Wärmeleitfähigkeit von $k=0,02$ W/mK auf.

Aus den Tabellenwerten geht hervor, dass durch Verwendung einer Aerogel-Beschichtung die Giessform durch kontrollierte Wärmeabfuhr kleineren thermischen Belastungen ausgesetzt ist, dafür jedoch die Erstarrungszeiten und somit die Zykluszeiten zunehmen.

Fig. 2 und Tabelle 1 zeigen ferner, dass durch Variation in der Aerogel-Schichtdicke einer-
25 seits die maximale thermische Belastung des Giessformkörpers und andererseits der zeitliche Verlauf des Wärmeflusses aus der Metallschmelze in die Giessform gezielt und kontrolliert gesteuert werden kann. Bei der Wahl der Schichtdicke des Aerogels, d.h. bei der Festlegung eines bestimmten Wärmeflussverlaufs, muss deshalb einerseits die thermische Belastbarkeit der Giessformmaterialien, die Wirtschaftlichkeit bezüglich längeren Zyklus-
30 zeiten, sowie die Formgeometrie bezüglich der Füllzeiten und der Beibehaltung der Fließfähigkeit der Schmelze während der Formfüllung berücksichtigt werden.

Gussteil: →	Aluminiumplatte, Dicke: 2 mm		Aluminiumplatte, Dicke: 5 mm	
Giessform: ↓	Erstarrungszeit	Maximale Giessformtemperatur	Erstarrungszeit	Maximale Giessformtemperatur
Stahl, 200°C	0,6 s	345°C	1,8 s	415°C
Aluminium, 20°C	0,4 s	150°C	1,0 s	210°C
Aluminium, 20°C mit 10 µm Aerogel-Schicht	1,3 s	85°C	3,4 s	120°C
Aluminium, 20°C mit 100 µm Aerogel-Schicht	12 s	48°C	30 s	65°C

Tabelle 1

Ansprüche

1. Giessform (1) mit einem Formhohlraum (10) und einem die Wärme abführenden und den Formhohlraum (10) ausbildenden Giessformkörper zum Giessen von Gussteilen aus Metall,
5 dadurch gekennzeichnet, dass
der Giessformkörper an der den Formhohlraum (10) ausbildenden Oberfläche teil- oder vollflächig eine gegen flüssige Metallschmelze resistente Beschichtung (20) in Form eines Schichtkörpers mit einer Dicke von weniger als 5 mm aufweist, und der Schichtkörper aus einem thermisch isolierenden, wärmeschockbeständigen Material
10 mit einer Wärmeleitfähigkeit k von $k < 1$ W/mK besteht.
2. Giessform nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schichtkörper ein Festkörper aus einem skelett- bzw. gerüstartig aufgebauten, dreidimensionalen Netzwerk aus miteinander verketteten Teilchen, Partikeln oder Kolloide einer Grösse von vorzugsweise 1-50 nm, vorteilhaft 1-20 nm, und insbesondere 2-10 nm, besteht.
- 15 3. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Schichtkörper aus einem porösen Material, vorzugsweise aus einem hochporösen Material mit einer Porösität von grösser als 50% bezogen auf das Gesamtvolumen des Schichtkörpers, besteht.
4. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung eine Dicke von weniger als 2000 μm , vorzugsweise weniger als 1000 μm , insbesondere weniger als 500 μm , und vorteilhaft weniger als 200 μm und grösser als 0,1 μm , vorzugsweise grösser als 1 μm , insbesondere grösser als 5 μm aufweist.
20
5. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Schichtkörper eine Wärmeleitfähigkeit k von $k < 0,5$ W/mK, vorzugsweise von $k < 0,1$ W/mK, insbesondere von $k < 0,05$ W/mK aufweist.
25
6. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass mehr als 50%, vorzugsweise mehr als 75% und insbesondere mehr als 95% des gesamten Porenvolumens des Schichtkörpers offenporig ist und das Porenvolumen mehr als 60%, vorzugsweise mehr als 85%, und insbesondere mehr als 90% des Gesamtvolumens
30 des Schichtkörpers beträgt.

7. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Schichtkörper aus einem Aerogel oder Xerogel, und vorzugsweise aus einem Kieselsäure-Aerogel, Kohlenstoff-Aerogel, Mischoxid-Aerogel oder Kunststoff-Aerogel, besteht.
- 5 8. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Giessformkörper, insbesondere der Formeinsatz, aus einem Metall, insbesondere aus einem Metall mit hoher Wärmeleitfähigkeit besteht.
9. Giessform nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Giessformkörper, insbesondere der Formeinsatz, aus einem Eisenmetall, wie Stahl oder einem nicht-
10 Eisenmetall, wie Aluminium, Kupfer, Magnesium oder einer Legierung davon, besteht.
10. Giessform nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Giessformkörper, insbesondere der Formeinsatz der Giessform, aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung besteht und die die Beschichtung tragende Oberfläche aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung eine Vorbehandlungsschicht, vorzugsweise eine anodisch erzeugte
15 Oxidschicht oder eine durch Chromatierung oder Phosphatierung erzeugte Vorbehandlungsschicht, enthält.
11. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Giessform eine mehrteilige Giessform, vorzugsweise mit einem den Formhohlraum
(10) ausbildenden Formeinsatz (2a, 2b), einer Vorrichtung für ein Formgiessverfahren,
20 vorzugsweise für ein Vakuumguss-, Niederdruckguss- oder Druckgussverfahren, ist.
12. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Giessform, insbesondere der Giessformkörper Mittel zu deren Kühlung und/oder zu deren Heizung enthält.
13. Giessform nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Giessform, insbesondere der Giessformkörper, Heiz- und/oder Kühlkanäle zur Zirkulation eines Heiz-
25 und/oder Kühlmediums, vorzugsweise eines Öls, enthält.
14. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Schichtkörper einer Giessform unterschiedliche Schichtdicken aufweist und bei dünnwandigen Bereichen des Gussteils in der Giessform der Schichtkörper eine, im Vergleich zu einer mittleren Dicke innerhalb einer Giessform, grössere Dicke aufweist, um
30 den Wärmeabfluss in dieser Zone zu verzögern und bei dickwandigen Bereichen des

Gussteils der Schichtkörper eine kleinere Dicke aufweist, um den Wärmeabfluss in dieser Zone zu beschleunigen.

15. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Bemessung der Dicke des Schichtkörpers in Abhängigkeit von dessen Wärmeleitfähigkeit derart ausgelegt ist, dass die Temperatur im Giessformkörper an der Grenzfläche zum Schichtkörper während des Giessprozesses nicht über 200°C, vorzugsweise nicht über 150°C und insbesondere nicht über 120°C, steigt.
16. Giessform nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Bemessung der Dicke des Schichtkörpers in Abhängigkeit von dessen Wärmeleitfähigkeit derart ausgelegt ist, dass die Erstarrungszeit des Gussteils nach Abschluss des Formfüllvorganges weniger als 6 sec., vorzugsweise weniger als 4 sec., insbesondere weniger als 3 sec. beträgt.
17. Giessform (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei die Giessform (1) einen Angiesskanal (3) und/oder Giesskammer (4) enthält, dadurch gekennzeichnet, dass die Giessform (1) an der den Angiesskanal (3) und/oder die Giesskammer (4) ausbildenden Hohlräumoberfläche teil- oder vollflächig eine gegen flüssige Metallschmelze resistente Beschichtung in Form eines Schichtkörpers mit einer Dicke von weniger als 5 mm aufweist, und der Schichtkörper aus einem thermisch isolierenden, wärmeschockbeständigen Material mit einer Wärmeleitfähigkeit k von $k < 1 \text{ W/mK}$ besteht.
18. Verwendung einer Giessform (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 17 in einer Giessvorrichtung zum Herstellen von Gussteilen aus Metall in einem Formgiessverfahren.
19. Verwendung einer Giessform (1) nach Anspruch 18 in einer Druckgussvorrichtung zum Herstellen von Gussteilen aus Metall in einem Druckgussverfahren.
20. Verfahren zur Herstellung einer Giessform (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung (20) als Sol im fließfähigen Zustand auf die Oberfläche des Formhohlraumes (10) der Giessform aufgetragen und mittels Kondensation in ein Gel umgesetzt und mittels Trocknung zu einem festen Schichtkörper umgewandelt wird oder die Beschichtung (20) als Folie auf die Oberfläche des Formhohlraumes (10) der Giessform (1) aufgebracht und, vorzugsweise mittels Kleben, fixiert wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung mittels Streichen, Sprühen, Walzen, Schleudern, Raket, Tauchen, Fluten oder Giessen, auf die Oberfläche des Formhohlraumes der Giessform aufgetragen wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der
5 Giessformkörper aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung besteht und auf die die Beschichtung tragende Oberfläche aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung vor Auftrag der Beschichtung eine mittels Anodisation, Chromatierung oder Phosphatierung erzeugte Vorbehandlungsschicht aufgetragen wird.

Fig. 1a

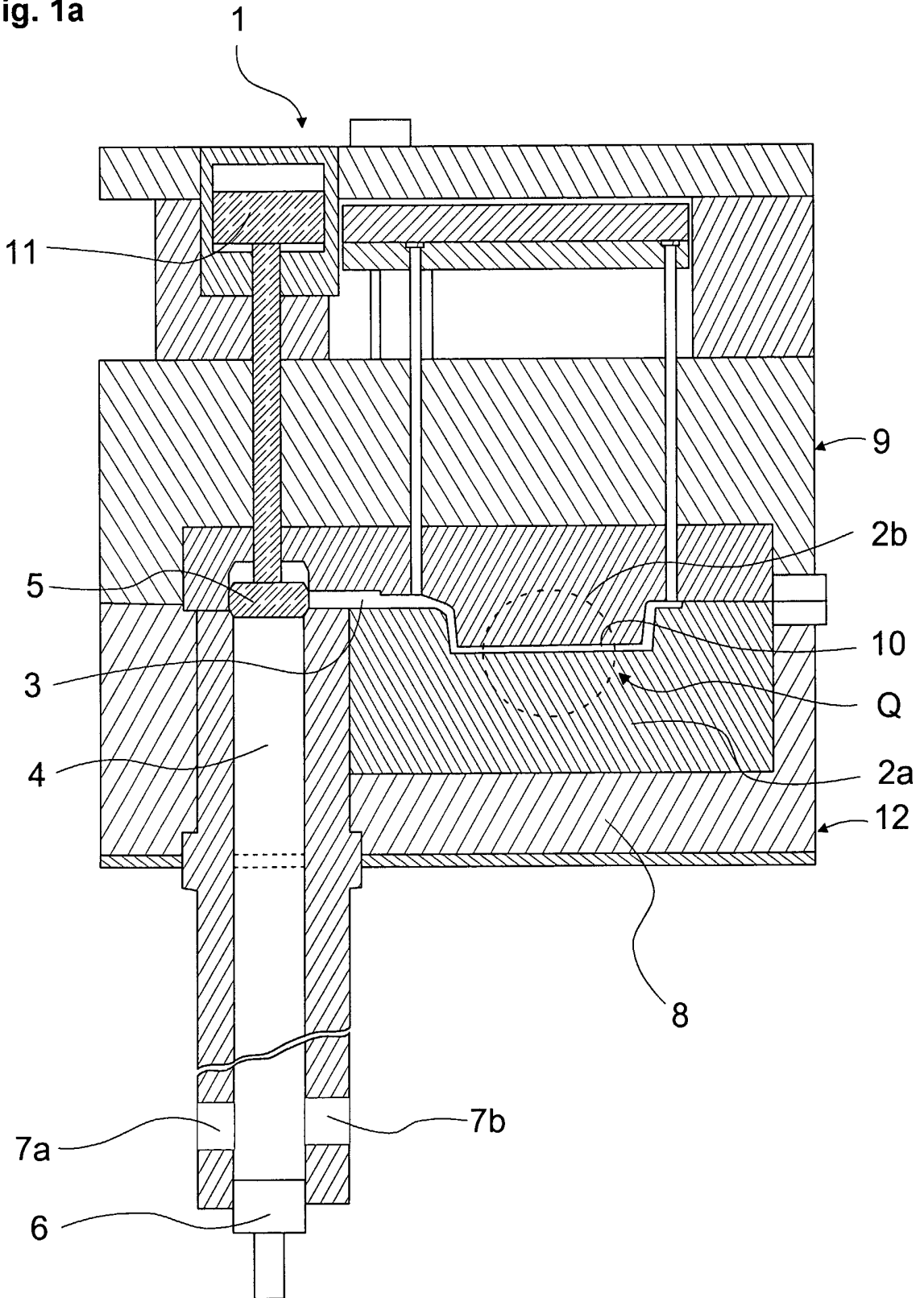


Fig. 1b

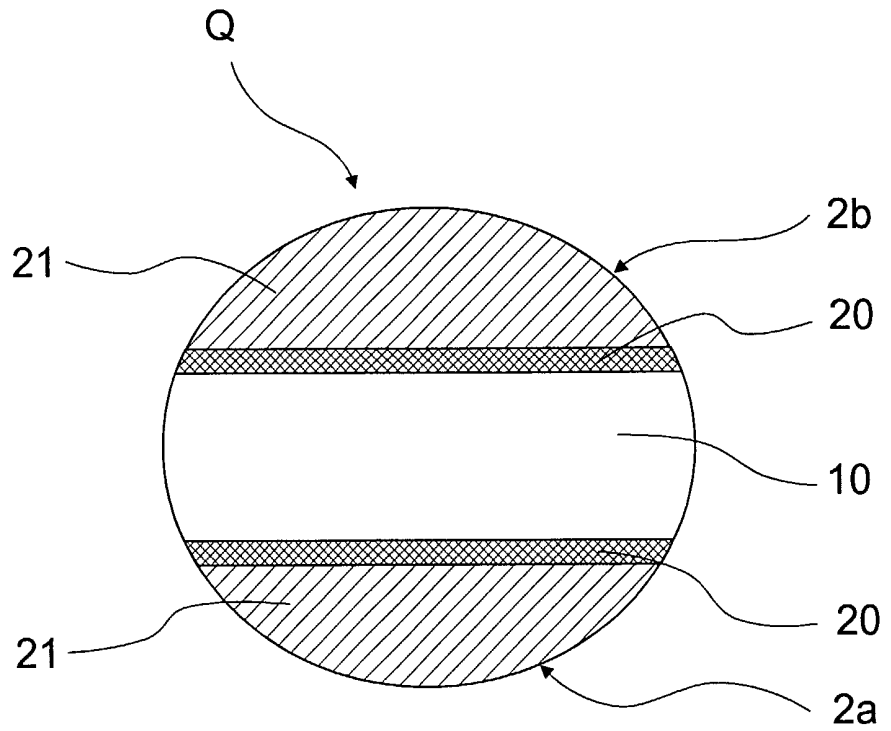


Fig. 2

