



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 037 069 A1** 2007.02.15

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 037 069.1**

(22) Anmeldetag: **05.08.2005**

(43) Offenlegungstag: **15.02.2007**

(51) Int Cl.⁸: **C22C 1/08** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
 angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(72) Erfinder:

**Weise, Jörg, Dr., 28199 Bremen, DE; Haesche,
 Marco, Dipl.-Ing., 27607 Langen, DE; Nestler,
 Kerstin, Dipl.-Ing., 01309 Dresden, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE 100 09 008 C1

DE 22 18 455 B2

DE 16 08 149 B2

DE 195 37 137 A1

DE 41 01 630 A1

DE 20 49 918 A

DE 690 06 359 T2

DE 32 37 437 T1

CH 5 50 857

WO 00/71 285 A1

**ABC Technik und Naturwissenschaft. Bd. 1 A-K.
 Frankfurt/Main und Zürich: Verlag Harri Deutsch,
 1970, S. 375;**

**Banhart, John, Fleck, Norman A.,
 Mortensen, Andreas:**

**Cellular Metals: Manufacture, Properties, Appl.
 Hannover: MIT-Verlag, 2003, S. 215-218;**

**Ma, Liqun, Song, Zhenlun: Cellular Structure Con-
 trol of Aluminium Foams during Foaming Process
 of Aluminium Melt. In: Scripta Materialia, 1998,
 Vol. 39, No. 11, S. 1523-1527;**

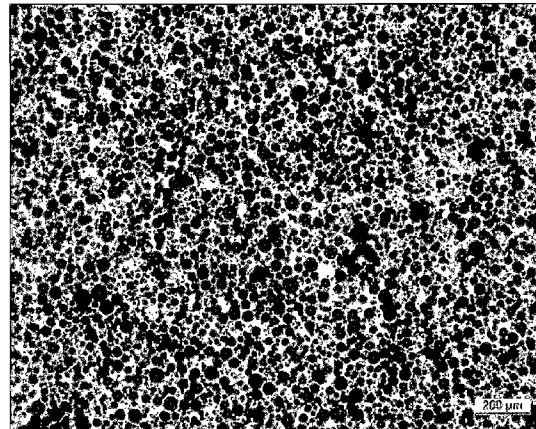
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Poröse Verbundwerkstoffe auf Basis eines Metalls und Verfahren zu deren Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Leichtbauwerkstoffe aus einem Kompositwerkstoff auf Basis eines Metalls, die sphärische Hohlräume oder nichtmetallische miteinander verbundene Hohlkugeln mit einem Durchmesser kleiner 150 Mikrometer enthalten.

Diese Leichtmetallwerkstoffe sind herstellbar, indem zunächst nichtmetallische Hohlkugeln so behandelt werden, dass ein Hohlkugelverbund entsteht und dieser zumindest teilweise mit der Schmelze des Basismetalls infiltriert wird. Zur Herstellung offenporiger Formkörper können die nichtmetallischen Hohlkugeln gegebenenfalls zerstört werden.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft poröse Formkörper auf metallischer Basis, insbesondere Formkörper aus einem Hybridwerkstoff und Verfahren zu deren Herstellung. Diese Formkörper eignen sich beispielsweise zur Verwendung als Leichtbaumaterial insbesondere, jedoch für den Einsatz als Permanentkern in Gussteilen.

[0002] Leichte Werkstoffe auf metallischer Basis sind in Form von Hybridwerkstoffen oder porösen Materialien seit längerem bekannt. Zur Herstellung poröser Werkstoffe gibt es verschiedenste Verfahrensvarianten schmelzmetallurgischer und pulvermetallurgischer Art.

[0003] Mittels pulvermetallurgischen Verfahren können poröse Werkstoffe mit sehr verschiedenen Porengrößen hergestellt werden, so z.B. mittels Schüttsinterung mit nur wenige Mikrometer großen Poren oder unter Zuhilfenahme von organischen Platzhaltern.

[0004] Nachteil dieser Verfahren sind hohe Kosten für das eingesetzte Pulver und Schwierigkeiten bei der Verarbeitung bestimmter, schwer zu sinternder Legierungen, wie z.B. Aluminium.

Stand der Technik

[0005] Aus der DE4101630 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung von Aluminiumschaum bekannt. Die mit Hilfe dieses Verfahrens hergestellten Metallschäume haben eine weitgehend geschlossene Porenstruktur. Allerdings entsteht eine teilweise offene Porosität durch Erstarrungsschrumpfung, die zum Auftreten einer Vielzahl von feinen Rissen in den Porenwänden führt. Diese teilweise offene Porosität ist ein Nachteil, falls ein Einsatz in bestimmten Atmosphären erfolgen soll. So besteht z.B. die Gefahr von Spritz- oder Kondenswasseransammlung bei Einsatz der Schäume in feuchter Umgebung. Bei bestimmten Lackierverfahren (Tauchlackierung) kann es zum Eindringen von Farbe in die Schaumstruktur kommen. Die Oberflächengüte der Außenhaut der Schäume ist schlecht und genügt nicht den Ansprüchen für Sichtflächen. Dies führt dazu, dass weitere Behandlungsschritte zur Verbesserung des Erscheinungsbilds der Oberfläche für viele Anwendungen notwendig werden.

[0006] Eine dichte Außenhaut mit hervorragender Oberflächengüte wird in der WO 00/71285 A1 beschrieben und kann über Schaum-Deckblech-Sandwichstrukturen erreicht werden.

[0007] Allerdings ist die Herstellungsmethode aufwendig und auf eher flache Geometrien beschränkt.

[0008] Die DE69006359 offenbart schmelztechnisch hergestellte Metallschäume.

[0009] Diese haben den Nachteil, dass zur Stabilisierung bestimmte Legierungselemente wie Calcium oder nichtmetallische Partikel in deutlichen Gehalten (ca. 15–25 Vol%) zur Schmelze hinzugefügt werden müssen, um die Schaumstruktur zu stabilisieren. Die Herstellung derartiger Schäume erfolgt meist in sehr einfachen Geometrien, aus denen komplexere Geometrien mechanisch, z.B. durch Fräsen, herausgearbeitet werden müssen.

[0010] Aus F. W. Bach et al. in J. Banhart (ed.) "Cellular Metals: Manufacture, Properties, Applications", MIT-Verlag (2003) S.215ff. und aus L. Ma et al., Scripta Materialica 41 (1998) 785, sind Platzhalterverfahren zur Herstellung von porösen Formkörpern aus Metall bekannt. Diese Schäume werden häufig als syntaktische Schäume bezeichnet.

[0011] In dem Verfahren nach Ma et al. wird die Herstellung offenporöser Metallstrukturen mittels Infiltration organischer Platzhalterstrukturen beschrieben.

[0012] Mit diesem Verfahren erhält man aber insbesondere bei großen Bauteilen keine Bauteile mit einheitlicher Porenstruktur.

[0013] Derartige Probleme bestehen bei der Infiltration von Platzhalterstrukturen aus Salz nach F. W. Bach et al. nicht.

[0014] Die Verwendung von Salzen, die nachträglich aus den gegossenen Strukturen herausgelöst werden müssen, ist jedoch ökologisch bedenklich. Außerdem erweist es sich als sehr schwierig, das Salz komplett aus allen Poren zu entfernen, besonders bei großen Bauteilen. Das kann zu Korrosionsproblemen beim späteren Einsatz des Bauteils führen; nicht nur am porösen Formkörper, sondern auch bei Komponenten, die damit verbunden sind.

[0015] Aus der DE 19537137 A1 ist ein Hybridwerkstoff bekannt, welcher aus einer metallischen Matrix mit darin eingebrachten Mikrohohlkugeln besteht. Dieser Werkstoff kann als Zwischenschicht einer dreischichtigen Sandwichstruktur erhalten werden und wird durch Elektrolyse mit einer Dispersion der Mikrohohlkugeln im Elektrolyten hergestellt.

[0016] Das galvanische Verfahren zur Herstellung dieses Werkstoffs ist allerdings sehr aufwendig und teuer und teilweise wegen der eingesetzten Reagenzien ökologisch bedenklich.

Aufgabenstellung

Beschreibung

[0017] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden, und einen Formkörper zur Verwendung als Leichtbaumaterial anzugeben, der eine einheitliche Porenstruktur aufweist. Weiterhin besteht die Aufgabe, ein Verfahren zu seiner Herstellung eines derartigen Formkörpers anzugeben, das frei von den Nachteilen der oben beschriebenen Verfahren ist und bei dem möglichst geringe Material- und Verfahrenskosten anfallen. Insbesondere sollte dieses Verfahren geeignet sein, Bauteile und Formkörper mit einer hohen Komplexität herzustellen.

[0018] Diese Aufgabe wird gelöst durch die Formkörper nach Anspruch 1 und 9 und die Verfahren zu deren Herstellung nach Anspruch 6 und 10. Die Ansprüche 12 bis 14 lehren vorteilhafte Verwendungen der erfindungsgemäßen Formkörper. Unteransprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen an.

[0019] Die erfindungsgemäßen Formkörper aus einem Kompositwerkstoff auf Basis eines Metalls (Basismetall) enthält nichtmetallische Hohlkugeln mit einem mittleren Durchmesser, der kleiner als 150 Mikrometer ist. Diese nichtmetallischen Hohlkugeln sind teilweise oder vollständig stoffschlüssig, kraftschlüssig oder formschlüssig miteinander verbunden.

[0020] Überraschenderweise wurde nämlich festgestellt, dass sich Hohlkugelverbünde aus Mikrohohlkugeln, insbesondere Hohlkugeln aus Glas und/oder Keramik, für die Herstellung eines solchen Verbundmaterials mittels Schmelzinfiltration eignen, weil die nichtmetallischen Hohlkugeln den während des Gießens auftretenden hohen thermischen und mechanischen Belastungen standhalten.

[0021] Wesentliches Merkmal der Erfindung ist, dass ein sehr leichter Verbundwerkstoff vorgestellt wird, der durch die Infiltration von insbesondere thermisch oder chemisch gebundenen Strukturen, welche zum überwiegenden Teil aus Hohlkugeln bestehen, mit einer Metallschmelze erhältlich ist. Die Infiltration kann z.B. mit Hilfe von Druck- und/oder Vakuumunterstützung oder bei bestimmten Legierungen auch spontan erfolgen.

[0022] Im Rahmen dieser Anmeldung wird unter dem Basismetall ein reines Metall und/oder eine reine Legierung oder ein Gemisch derartiger Metalle und Legierungen verstanden. Insbesondere sind Basismetalle geeignet, die in Gussverfahren verwendet werden können. Besonders bevorzugt wird das Basismetall ausgewählt aus Aluminium, Magnesium, Zink und Legierungen dieser Elemente.

[0023] Das Basismetall kann auch Zuschlagstoffe wie z.B. keramische Verstärkungskomponenten enthalten. Für bestimmte Anwendungen können z.B. Stoffe wie Siliziumkarbidpartikel zugemischt werden, etwa, wenn die Härte und Verschleißfestigkeit des Materials zu verbessern ist.

[0024] Die erfindungsgemäßen Formkörper können aus dem Basismetall und den nichtmetallischen Hohlkugeln bestehen, können aber auch noch andere Komponenten enthalten. Weiterhin können die erfindungsgemäßen Formkörper einen oder mehrere Hohlkugelverbünde stoffschlüssig, kraftschlüssig oder formschlüssig miteinander verbundener Hohlkugeln enthalten.

[0025] Die bevorzugt verwendeten Hohlkugeln, die bevorzugt Glashohlkugeln (z.B. aus Borosilikat) oder keramischen Hohlkugeln sind, weisen bevorzugt eine Wanddicke von 1 µm bis zu 10 µm und besonders bevorzugt von 2–4 µm auf und sind chemisch weitgehend inert und sehr stabil gegen Laugen und Säuren. Somit stellen sie keine zusätzlichen Angriffstellen für Korrosionserscheinungen dar. Weiterhin kommt es nicht zum Auftreten von Kontaktkorrosion zwischen den Hohlkugeln und Phasen der Metallmatrix. Die Kugeln sind in sich abgeschlossen und ihre zugehörigen Hohlräume nicht miteinander verbunden, die Struktur ist somit wirklich geschlossenporös. Flüssigkeiten oder Dämpfe können nicht eindringen.

[0026] Die erfindungsgemäßen Formkörper weisen neben der in der Regel geschlossenen Porenstruktur sehr feine und homogene Porengrößen und zumindest im Bereich einzelner Hohlkugelverbünde eine einheitliche Porenverteilung auf. Sowohl bei der Herstellung der Kugelstrukturen als auch beim Gießen gibt es sehr große Freiheitsgrade hinsichtlich der erzeugbaren Geometrien.

[0027] Es können aufgrund der sehr feinen Porenstruktur Formkörper mit sehr kleinen minimalen Wanddicken (bis zu 1 mm) hergestellt werden.

[0028] Weiterhin besitzen die erfindungsgemäßen Formkörper den Vorteil, dass die enthaltenen Poren so fein sind, dass sie praktisch mit bloßem Auge nicht zu erkennen und von massivem Material nicht zu unterscheiden sind. Die Oberflächengüte entspricht daher etwa der von Druckgussteilen. Wenn nötig ist eine nachträgliche mechanische Bearbeitung der Oberfläche problemlos möglich.

[0029] Im Unterschied zum Kompositwerkstoff nach der DE 19537137 A1 sind erfindungsgemäß auch Bauteile komplexer Geometrien möglich.

[0030] Auch gegenüber pulvermetallurgisch hergestellten porösen Werkstoffen besteht dieser Vorteil. Weiterhin bestehen im Vergleich hierzu keine Ein-

schränkungen hinsichtlich der Wanddicken. Vielmehr sind die Wanddicken durch die Wanddicke der eingesetzten Hohlkugeln genau einstellbar.

[0031] Gegenüber Metallschäumen haben die erfindungsgemäßen Formkörper den Vorteil, dass auch die Homogenität der Porengröße durch entsprechende Auswahl genau eingestellt werden kann. Neben einer absolut homogenen Porengröße (bei Verwendung von Hohlkugeln mit identischem Durchmesser) kann die Porengrößenverteilung beliebig variiert werden (Verwendung von Hohlkugeln mit unterschiedlichen Durchmessern). Dagegen kann bei der Herstellung von Metallschäumen nur ein sehr geringer Einfluss auf die Homogenität der gebildeten Poren genommen werden, der anders wie bei den erfindungsgemäßen Formkörpern abhängig vom verwendeten Basismetall ist. Weiterhin können bei Metallschäumen üblicherweise nur mittlere Porengrößen, die größer als 4 mm sind, erhalten werden. Diese Porengröße schränkt auch bei Metallschäumen die minimalen Bauteilabmessungen ein. Die minimal erreichbaren Bauteilabmessungen liegen generell (also auch erfindungsgemäß etwa beim 5fachen der mittleren Porengröße).

[0032] Erfindungsgemäß können insbesondere Formkörper mit einer Porosität von 45 bis 75%, bevorzugt 50 bis 70%, besonders bevorzugt 60 bis 70%, hergestellt werden. Dies ist insbesondere aufgrund der hohen Schüttdichte der verwendeten Hohlkugeln möglich.

[0033] Die erfindungsgemäßen Formkörper weisen aufgrund der Eigenstabilität der Kugeln gegenüber isostatischer Druckwirkung und der dazwischenliegenden Metallmatrix, die Punktwechselwirkungen zwischen den einzelnen Kugeln abmindert bzw. verhindert, eine Gesamtstabilität gegenüber Druckbelastungen aufweist, die deutlich höher ist als bei Metallschäumen mit gleicher Dichte und gleicher Legierung in der Metallmatrix.

[0034] Die erfindungsgemäßen Formkörper haben auch den Vorteil, dass ein sehr einfaches Recycling des Verbundwerkstoffs möglich ist. Dieses kann z.B. durch Wiedereinschmelzen erfolgen, da die Dichte der Kugeln deutlich geringer ist, als die der Metallmatrix, was trotz der sehr kleinen Kugelgrößen zu einem zügigen Aufsteigen der Kugeln an die Schmelzoberfläche führt, wo das nichtmetallische Material abgekrätzt werden kann. Ein besonderer Vorteil bei der Verwendung von Glashohlkugeln ist, dass der Erweichungspunkt des Glases etwa bei 700°C liegen kann, das Material schmilzt also in der Schmelze auf und kann so noch besser aus der Schmelze entfernt werden. Die Kugeln verbinden sich dabei miteinander und können als kompakte dichte und ökologisch unbedenkliche Masse sehr einfach entsorgt werden. Um eine spätere einfache Entsorgung der auf Glas-

hohlkugeln zurückgehenden Masse zu gewährleisten, können Glashohlkugeln, deren Erweichungspunkt auf eine bestimmte Temperatur eingestellt wird, zur Herstellung des erfindungsgemäßen Formkörpers eingesetzt werden. Diese Erweichungstemperatur wird dann möglichst niedrig gewählt werden, allerdings hoch genug um eine Zerstörung der Kugel durch die Metallschmelze zu verhindern.

[0035] Das Recycling anderer poröser Werkstoffe aus Metall ist oft wesentlich schwieriger. So habe schmelztechnisch hergestellte Metallschäume den Nachteil, dass zu ihrer Stabilisierung bestimmte Legierungselemente wie Calcium oder nichtmetallische Partikel in deutlichen Gehalten (ca. 15–25 Vol%) zur Schmelze hinzugefügt werden müssen. Solche Partikel erschweren dann das Recycling des Materials.

[0036] Die erfindungsgemäßen Formkörper sind durch ein Verfahren herstellbar, bei dem zunächst nichtmetallische Hohlkugeln, die einen Durchmesser bzw. einen mittleren Durchmesser besitzen, der kleiner als 150 Mikrometer ist, physikalisch und/oder chemisch so behandelt werden, dass ein stoffschlüssiger, kraftschlüssiger oder formschlüssiger Verbund entsteht. Die physikalische und/oder chemische Behandlung kann dabei in der nachfolgend benötigten Infiltrationsform erfolgen. Anschließend wird der dabei erhaltene Hohlkugelverbund (sofern er sich noch nicht in der Infiltrationsform befindet) in der Infiltrationsform angeordnet und teilweise oder vollständig von der Schmelze eines Basismetalls infiltriert.

[0037] Die Infiltrierung erfolgt dabei bevorzugt mittels herkömmlicher Guss- oder Druckgussverfahren, bevorzugt im Squeezecasting-Verfahren mit niedrigen Drücken von ca. 5–50bar und Giessgeschwindigkeiten von 0,5–5 m/s.

[0038] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass durch eine "Fixierung" der Hohlkugeln, Probleme, die durch die schwierige Handhabbarkeit der nicht in einem Verbund vorliegenden Hohlkugeln verursacht werden, behoben werden. Liegt kein Verbund vor, so kommt es während des Infiltrierens zum Aufschwimmen der Hohlkugeln; ein Werkstoff mit homogener Porenverteilung kann dann nicht erhalten werden.

[0039] Während der Infiltrierung des Hohlkugelverbunds mit der Metallschmelze erfolgen normalerweise keine chemischen Reaktionen zwischen Hohlkugeloberfläche und Metallschmelze. Allerdings kann, sofern dies erwünscht ist, z.B. durch Sintern des fertigen Formkörpers – insbesondere bei Magnesium-haltigem Matrixmetall und Glashohlkugeln – eine chemische Reaktion zwischen Hohlkugel und Metall erfolgen. Es liegt dann zwischen Hohlkugel und Basismetall keine rein formschlüssige Verbindung mehr vor.

[0040] Die Hohlkugeln weisen ein sehr gutes Fließverhalten in der Schüttung und bei Vibrationen auf, so dass erfindungsgemäß auch komplexe gestaltete Hohlkugelstrukturen bzw.

[0041] Hohlkugelverbände sehr einfach hergestellt werden können, indem die Einzelkugeln in die Formen gegeben und dort thermisch oder chemisch miteinander verbunden werden.

[0042] Die Hohlkugelverbände müssen nicht in einem Teil hergestellt werden, sondern können aus einzelnen gefertigten Teilverbänden zusammengesetzt und (z.B. durch Kleben oder andere geeignete Füge-techniken) verbunden werden.

[0043] Auch die Verbindung von Hohlkugelverbänden mit Strukturen anderer Materialien, z.B. gesinterter SiC-Partikelschüttungen, und die anschließende Infiltration ist möglich. Hieraus resultieren teilweise poröse, teilweise partikelverstärkte Metallmatrix-Hybridwerkstoffe. Zuschlagstoffe können aber auch der Metallschmelze zugegeben werden oder mit den einzelnen vorliegenden Hohlkugeln vermischt werden, und mit den Hohlkugeln der physikalischen und/oder chemischen Behandlung unterworfen werden, bei dem der Hohlkugelverbund entsteht. Hierdurch ist es auch möglich, gezielt niedrigere Porositäten des Verbunds im Vergleich zur reinen Hohlkugelschüttung einzustellen.

[0044] Als geeignete Zuschlagstoffe sind insbesondere wie SiC, die auch bei vorbekannten Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen eingesetzt werden, um z.B. die Beständigkeit gegen Abrasion zu erhöhen. Weiterhin sind als Zuschlagstoffe, mit denen verbesserte mechanische Eigenschaften erzielt werden können, Al₂O₃, TiO₂, Boride, Nitride oder Karbide zu nennen (z.B. TiC, BN, B₄C).

[0045] Besonders bevorzugt werden dabei nur so viel Zuschlagstoffe zugegeben, dass das Verhältnis von Zuschlagstoffen zu nichtmetallischen Hohlkugeln kleiner als 20:80 Vol-% ist.

[0046] Das erfindungsgemäße Verfahren besitzt den Vorteil, dass (z.B. gegenüber dem Verfahren nach der DE 19537137 A1) nur niedrige Verfahrenskosten anfallen und außerdem die Möglichkeit zur Herstellung von beliebigen Bauteilen komplexer Geometrien besteht.

[0047] Mit Hilfe des Verfahrens ist es ebenfalls möglich, Bauteile mit dichten, nicht porösen Oberflächen herzustellen. Dies kann vorteilhafterweise gleich während des Infiltrationsprozesses erfolgen. Dabei wird die Form, in der die Infiltration erfolgen soll, etwas größer gewählt, als die zu infiltrierende Hohlkugelstruktur bzw. der zu infiltrierende Hohlkugelverbund ist, so dass dieser nicht nur infiltriert, sondern

auch vollständig von Schmelze umhüllt wird. Die Positionierung der Hohlkugelstruktur erfolgt in diesem Fall z.B. mit Abstandshaltern bzw. Kernmarken. Auch die Herstellung von porösen Werkstoffen mit nur einzelnen nichtporösen Oberflächen-Bereichen ist auf diese Weise möglich. So können z.B. Verbindungselemente gleich an das poröse Bauteil mit angegossen werden.

[0048] Die Infiltration der Hohlkugelstruktur muss nicht vollständig erfolgen. Durch eine gezielte Reduzierung des Infiltrationsdrucks, der Temperaturen von Schmelze und Kugelstruktur kann auch nur eine oberflächennahe Infiltration der Hohlkugelstruktur eingestellt werden. Auf diese Weise können noch leichtere Bauteile hergestellt werden, bestehend aus einem inneren Hohlkugelnkern und einer äußeren Metallmatrix-Hohlkugel-Verbundstruktur.

[0049] Besonders bevorzugt erfolgt die physikalische und/oder chemische Behandlung der nichtmetallischen Hohlkugeln mittels Kleben und/oder Sintern. Ein Kleben kann z.B. mittels der Verwendung von Wasserglas als Bindemittel erfolgen.

[0050] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, dass auch Verbände Hohlkugeln, deren Erweichungspunkt niedriger als die Temperatur der Basismetallschmelze ist, infiltriert werden können.

[0051] Überraschenderweise halten die Hohlkugelverbände einer Schmelze, deren Temperatur um über 100K über dem Erweichungspunkt der Hohlkugeln liegt, auch hohen Drücken stand.

[0052] Besonders leichte Formkörper können hergestellt werden, wenn die Hohlkugeln vor der chemischen bzw. physikalischen Behandlung so angeordnet werden, dass sich eine möglichst dichte Kugelpackung ergibt. Aufgrund des guten Fließverhaltens kommt die Anordnung der einfachen Hohlkugel-Schüttung einer dichten Packung schon sehr nahe, eine weitere Verbesserung ist beispielsweise möglich durch Rütteln oder, indem man die vorbereitete Hohlkugelschüttung längere Zeit stehen lässt. Da das Eigengewicht der Hohlkugeln kaum zum Gewicht des Formkörpers beiträgt, können somit Formkörper erhalten werden, deren Gewicht nahe der theoretischen Dichte liegt (wobei zu berücksichtigen ist, dass durch das Eigengewicht der Kugeln bzw. deren Dichte die theoretische Dichte überschritten wird). Man erhält also Formkörper mit einem Metallgewicht, das – bei vollständiger Infiltration des Hohlkugelverbunds – gegenüber dem Gewicht der massiven Metallmatrix um mindestens 60%, üblicherweise aber um über 70% reduziert ist. Wird der Hohlkugelverbund nicht vollständig infiltriert, so ist eine weitere Reduzierung möglich.

[0053] Erfindungsgemäß sind aus den geschlossenenporigen, hohlkugelhaltigen Formkörpern auch offenporige Formkörper (die nachfolgend stets als offenporige Formkörper bezeichnet werden, während die geschlossenenporigen Formkörper nachfolgend stets mit (geschlossenenporige) Formkörper bezeichnet werden) herstellbar.

[0054] Dies wird erreicht, indem die in den geschlossenenporigen, hohlkugelhaltigen Formkörper enthaltenen nichtmetallischen Hohlkugeln zumindest teilweise mechanisch und/oder chemisch zerstört werden.

[0055] Da sich die Hohlkugeln durch eine gut definierte isostatische Druckfestigkeit auszeichnen, ist beispielsweise eine mechanische Zerstörung der Kugeln im Verbund durch eine Druck- (z.B. im Wasserbad) oder Druckimpulswirkung möglich.

[0056] Im Falle der Verwendung von Kugeln aus einem chemisch weniger stabilen Material kann die Auflösung der Kugeln auch chemisch erfolgen. Ist dies gewünscht, so können auch die ursprünglich eingesetzten nichtmetallischen Hohlkugeln so ausgewählt werden, dass eine Auflösung unter möglichst milden Bedingungen möglich ist, bei der die verwendete Chemikalie nicht oder zumindest nur oberflächlich mit der Metallmatrix reagieren kann. Aufgrund der Hohlstruktur der Kugeln ist insgesamt recht wenig Material aufzulösen. Außerdem kommen Kapillarkräfte, die den Kontakt des angreifenden Reagenzes mit dem Material der Hohlkugeln verbessern, durch die Hohlstruktur besser zur Geltung. Die auf diese Weise hergestellte offenporöse Struktur kann z.B. Anwendung im Formenbereich für die Herstellung von Bauteilen aus aufschäumbaren Polymeren finden (z.B. um Wasserdampf durch eine derartige Form zu leiten).

[0057] Die erfindungsgemäßen offenporigen Formkörper enthalten daher einen Kompositwerkstoff auf Basis eines Metalls oder bestehen aus diesem Kompositwerkstoff. Sie weisen zumindest teilweise miteinander verbundene, sphärische Hohlräume auf, wobei der mittlere oder exakte Durchmesser dieser sphärischen Hohlräume kleiner als 150 µm ist. Da sich im Vergleich zu den (geschlossenenporigen) Formkörpern keine Änderung der Anordnung der Poren ergibt und bei den (geschlossenenporigen) Formkörpern das Gewicht der Hohlkugeln nicht wesentlich zum Gesamtgewicht des (geschlossenenporigen) Formkörpers beiträgt, gilt hinsichtlich der Porenverteilung, der Porosität und des Gewichts verglichen mit dem der massiven Metallmatrix das zu den (geschlossenenporigen) Formkörpern Beschriebene entsprechend.

[0058] Die hohe Druckfestigkeit des erfindungsgemäßen geschlossenenporigen Formkörpers in Verbindung mit seiner sehr feinen und (sicher) geschlossene-

nen Porosität ermöglicht seine Verwendung u.a. als Permanentkern bei Gussverfahren, insbesondere im Druckguss und ähnlichen druckunterstützten Gießverfahren.

[0059] Ein Vorteil hierbei ist, dass für die Herstellung des Hybridwerkstoffs typische Gusslegierungen Verwendung finden können, im Gegensatz z.B. zur Metallschaumherstellung, bei welcher viele Legierungstypen (z.B. Al-Mg-Legierungen) ein ungünstiges Schäumverhalten zeigen und zu sehr groben Schaumstrukturen führen.

[0060] Es ist mit den erfindungsgemäßen (geschlossenenporigen) Formkörpern also möglich, die Matrixlegierung des Metall-Hohlkugel-Verbundwerkstoffs auf die Legierung des Druckgussteils abzustimmen. So kann z.B. für beide dieselbe Legierung gewählt werden, um Korrosionsproblemen an den Kontaktflächen vorzubeugen. Es können aber auch völlig verschiedene Legierungen eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung eines Magnesium-Hohlkugel-Verbundkerns in einem Aluminium-Gussteil. Die geringere Dichte des Magnesium-Hohlkugel-Verbundkerns hat ein noch geringeres Gewicht des Gießkerns zur Folge.

[0061] Der Einsatz eines Permanentkerns mit geringem Gewicht in gegossenen Bauteilen dient z.B. einer Verbesserung des Steifigkeits- oder des Schwingungsverhaltens gegossener Bauteile.

[0062] Darüberhinaus kann eine Reduzierung des Bauteilgewichts auch dort erreicht werden, wo technische oder gestalterische Randbedingungen die äußere Geometrie des Bauteils fest vorschreiben und andere Kerntechnologien, wie z.B. der Einsatz von Sandkernen, nicht möglich sind. Dies ist z.B. bei Gießverfahren mit Druckunterstützung, wie beim konventionellen Druckguss, Squeeze-, Thixo-, Rheocasting etc. der Fall. Die hohen thermischen und mechanischen Belastungen, die bei diesen Gießverfahren auf Kerne in der Form wirken, führen nach dem Stand der Technik üblicherweise zur Zerstörung oder zur Infiltration der sonst in vielen Gießverfahren üblichen Sandkerne. Ein Serieneinsatz von Sandkernen im Druckguss ist nicht bekannt.

[0063] Die erfindungsgemäße Verwendung der (geschlossenenporigen) Formkörper als Permanentkern hat weiterhin gegenüber der Verwendung von hohlen Blechstrukturen als Gießkern (z.B. nach der DE 100 08 392 A1) den Vorteil, dass keine aufwendige Kernfertigung nötig ist.

[0064] Gegenüber der Verwendung von Salzkernen im Druckguss (z.B. nach der DE 10305612 A1) besteht auch der wesentliche Vorteil, dass das schwierig und aus ökologischen und Korrosionsgesichtspunkten bedenkliche Entfernen des Salzkerns durch

Auslaugen nicht nötig ist.

[0065] Generell ist zu sagen, dass alle bisher entwickelten porösen metallischen Werkstoffe nicht stabil genug sind, um den Belastungen während des Gießprozesses zu widerstehen (z.B. beim Aluminiumdruckguss 800–1200bar Druck, bis 100 m/s Metallgeschwindigkeit und ca. 660–710°C Schmelzetemperatur). Zum einen ist die Druckfestigkeit z.B. des Aluminiumschaumkerns nicht ausreichend, zum anderen führen bereits kleinste Risse in den Porenwänden zu Infiltrationserscheinungen im Schaumkern.

[0066] Dies führte zur Notwendigkeit, beim Einsatz von Aluminiumschaumkernen die Prozessführung während des Druckgussprozesses zu modifizieren (vgl. DE 100 09 008 C1), was eine schwierigere Prozesskontrolle nach sich zieht. So ist für die Gewährleistung der Integrität des Aluminiumschaum-Kerns eine Reduzierung des Nachverdichtungsdrucks auf Werte zwischen 200 und 700 bar erforderlich. Dieser liegt unterhalb der sonst in den genannten Verfahren eingesetzten Drücke im Bereich zwischen 600 und 1000 bar. Damit ist bei einer derartigen Prozessführung die Gewährleistung der sonst üblichen Material- und Oberflächenqualitäten kritisch.

[0067] All diese Nachteile werden durch Verwendung der erfindungsgemäßen (geschlossenporigen) Formkörper als Permanentkern behoben.

[0068] Neben der Anwendung der erfindungsgemäßen (geschlossenporigen) Formkörper als Permanentkerne eignen sich in Analogie zu anderen porösen metallischen Werkstoffen die erfindungsgemäßen offenporigen und geschlossenporigen Formkörper auch für die Aufnahme von Stoßenergien im Crash- oder Beschussfall.

[0069] Die Herstellung des Werkstoffverbunds mittels Schmelzinfiltration, die sehr feine Porenstruktur und auch die Möglichkeit der Herstellung von teilweise porösen, teilweise kompakten Körpern erlauben die vorteilhafte Anwendung der erfindungsgemäßen offenporigen und geschlossenporigen Formkörper für die lokale Beeinflussung von Abkühl-, Aufheiz- bzw. allgemeinen Wärmeübertragungsvorgängen. Durch die lokal herausgebildete Porosität ändern sich nicht nur Stoffparameter wie die Dichte ρ und die Wärmeleitfähigkeit λ , sondern natürlich auch abgeleitete Parameter wie die Wärmeeindringtiefe, definiert nach $(\lambda \rho c_p)^{1/2}$ mit der spezifischen Wärmekapazität c_p . Ein besonderer Vorteil ist hierbei, dass der Wärmeausdehnungskoeffizient von porösen Metallen ähnlich hoch wie der des kompakten Materials, so dass zusätzliche thermische Spannungen nur durch die stärker unterschiedlichen lokalen Temperaturen, nicht aber durch Unterschiede im lokalen Ausdehnungskoeffizienten hervorgerufen werden. Im Vergleich z.B. zu anderen Kombinationen metallischer

Werkstoffe mit unterschiedlichen Wärmetransport Eigenschaften kann es beim Einsatz des hier beschriebenen Verbundmaterials auch nicht zu Kontaktkorrosionsproblemen kommen.

Beispiele

[0070] Ohne Einschränkung der Allgemeinheit werden die erfindungsgemäßen Formkörper und das Verfahren zu ihrer Herstellung anhand von 2 Abbildungen und einem Beispiel näher beschrieben.

[0071] Fig. 1 zeigt ein Schlifffbild des nach Beispiel 1 hergestellten erfindungsgemäßen Formkörpers aus dem Basismetall Al-226 und Glashohlkugeln aus Borosilikat mit einem maximalen Durchmesser von 65 μm . Die geschlossene Porosität ist deutlich zu erkennen.

[0072] Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt aus Fig. 1. Hier ist zu erkennen, dass nur in geringem Ausmaß eine Infiltration der Hohlkugeln stattgefunden hat und die Glashohlkugeln unzerstört im Werkstoff enthalten sind.

Beispiel 1

[0073] Glashohlkugeln aus Borosilikatglas (Fa. 3M, Typ S60) mit einem äußeren maximalen Kugeldurchmesser von 65 Mikrometern (Herstellerangabe: 10% der Kugeln bis max. 15 Mikrometer, 50% bis max. 30 Mikrometer, 90% der Kugeln bis max. 55 Mikrometer, maximaler Durchmesser 65 Mikrometer) und einer Wanddicke von ca. 5–10 Mikrometern wurden in eine Form (zylindrisch, Durchmesser 70 mm, Höhe 35 mm) gegeben und 30 Minuten bei 790°C getempert. Die resultierende stabile Sinterstruktur wurde in der zylindrischen Form auf 600°C vorgewärmt und mit der Aluminiumlegierung AlSi9Cu3 bei einer Schmelzetemperatur von 720°C und einem Druck von 30bar infiltriert. Die Zwischenräume zwischen den zusammengesinterten Glashohlkugeln konnten vollständig infiltriert werden. Nur einzelne der Glashohlkugeln wurden durch die Wirkung der Schmelze zerdrückt oder infiltriert, obwohl das Auftreffen der Schmelze auf die Struktur und der zur Überwindung der Kapillarkräfte notwendige Druck an den Berührungspunkten benachbarter Kugeln zu Druckspitzen führen kann, der über der isostatischen Druckfestigkeit der Kugeln liegt (600bar). Weiterhin lag die Temperatur der Schmelze mit 730°C schon etwas über dem Erweichungspunkt des Glases der Kugeln (Angabe des Herstellers 3M: 600°C). Die erreichte Porosität des Verbundwerkstoffs wurde mit ca. 50% bestimmt. Die Druckfestigkeit gegenüber isostatischer Druckbelastung wurde in einer Kaltisostat-Pressen mit größer als 800bar ermittelt. Die Dichteänderung des Versuchskörpers nach 20s Belastung von 800bar im Wasserbad betrug nur 1,7%. Das Druckverhalten dieses Verbundwerkstoffs ist somit deutlich besser als das von

porösen Formkörpern vergleichbarer Dichte und gleicher Matrixlegierung, für welche die theoretische Druckfestigkeit bei ca. 300bar liegt. Für die Härte wurde ein Kennwert von 33 (HB2,5) gemessen.

Patentansprüche

1. Formkörper aus einem Kompositwerkstoff auf Basis eines Metalls, der nichtmetallische Hohlkugeln enthält, die einen Durchmesser besitzen, der kleiner als 150 Mikrometer ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die nichtmetallischen Hohlkugeln zumindest teilweise stoffschlüssig, kraftschlüssig oder formschlüssig miteinander verbunden sind.

2. Formkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Formkörper durch zumindest teilweise Infiltration einer die nichtmetallischen Hohlkugeln enthaltenden Infiltrationsform mit einer Schmelze des Basismetalls herstellbar ist.

3. Formkörper nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Formkörper Zuschlagstoffe enthält, wobei das Verhältnis von Zuschlagstoffen zu nichtmetallischen Hohlkugeln kleiner als 20:80 Vol-% ist.

4. Formkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Hohlkugeln aus Glas oder Keramik bestehen oder Glas oder Keramik enthalten.

5. Formkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Formkörper eine Porosität von 40 bis 75% besitzt.

6. Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass

- nichtmetallische Hohlkugeln physikalisch und/oder chemisch so behandelt werden, dass ein stoffschlüssiger, kraftschlüssiger oder formschlüssiger Verbund entsteht und
- der in einer Infiltrationsform angeordnete derartig erhaltene Hohlkugelverbund zumindest teilweise von der Schmelze eines Basismetalls infiltriert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die physikalische und/oder chemische Behandlung der nichtmetallischen Hohlkugeln mittels Kleben und/oder Sintern erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur der Basismetallschmelze über dem Erweichungspunkt der Hohlkugeln liegt.

9. Offenporiger Formkörper aus einem Kompositwerkstoff auf Basis eines Metalls, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall zumindest teilweise mitein-

ander verbundene, sphärische Hohlräume aufweist, wobei der Durchmesser der sphärischen Hohlräume kleiner als 150 Mikrometer ist.

10. Verfahren zur Herstellung eines offenporigen Formkörpers nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die in einem Formkörper einem der Ansprüche 1 bis 5 enthaltenen nichtmetallischen Hohlkugeln zumindest teilweise mechanisch und/oder chemisch zerstört werden.

11. Bauteil, das einen Formkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 9 enthält oder aus diesem Formkörper besteht.

12. Verwendung eines Formkörpers einem der Ansprüche 1 bis 5 als Permanentkern Gießverfahren, insbesondere für druckunterstützte Gießverfahren.

13. Verwendung eines Formkörpers einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 9 für Bauteile zur Aufnahme von Verformungsenergie.

14. Verwendung eines Formkörpers einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 9 dass er für Bauteile oder Werkstoffe, die zur lokalen Beeinflussung von Wärmetransportvorgängen eingesetzt werden.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

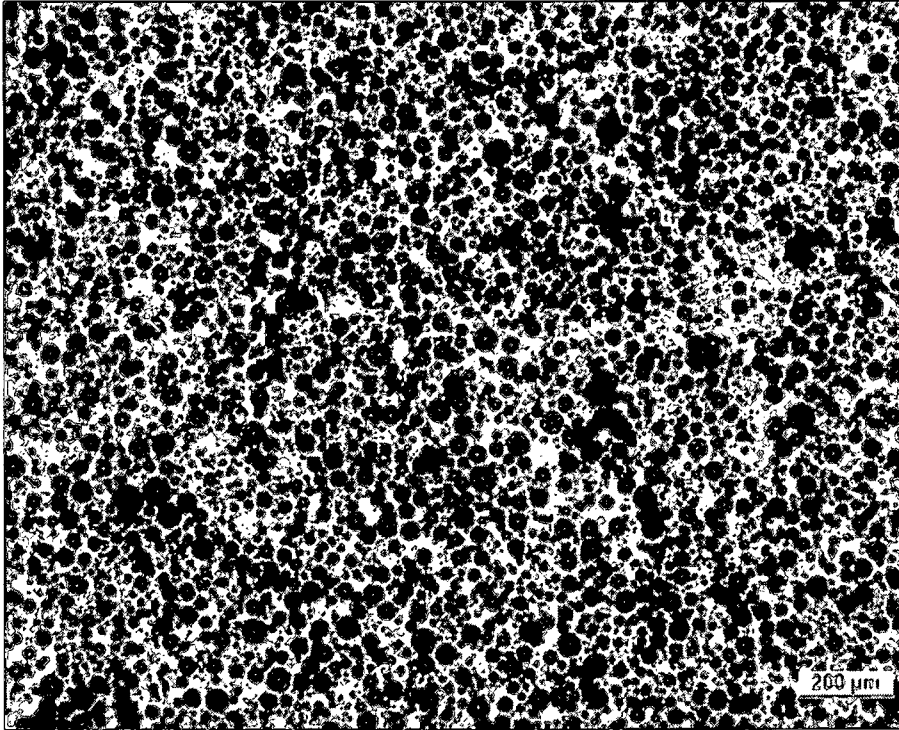


Fig. 1

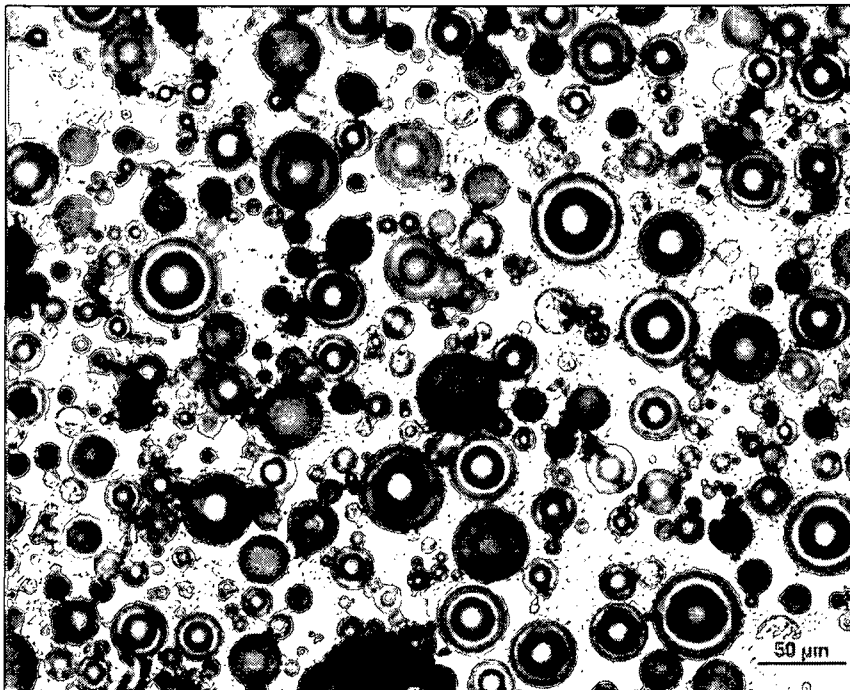


Fig. 2