



(11) **EP 1 915 226 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
17.06.2009 Patentblatt 2009/25

(51) Int Cl.:
B22F 3/11 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06775813.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2006/001375

(22) Anmeldetag: **02.08.2006**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2007/014559 (08.02.2007 Gazette 2007/06)

(54) **VERFAHREN ZUR PULVERMETALLURGISCHEN HERSTELLUNG VON METALLSCHAUMSTOFF UND VON TEILEN AUS METALLSCHAUMSTOFF**

PROCESS FOR THE POWDER METALLURGY PRODUCTION OF METAL FOAM AND OF PARTS MADE FROM METAL FOAM

PROCEDE DE FABRICATION DE MOUSSE METALLIQUE ET DE PIECES EN MOUSSE METALLIQUE PAR METALLURGIE DES POWDRES

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

(30) Priorität: **02.08.2005 DE 102005037305**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.04.2008 Patentblatt 2008/18

(73) Patentinhaber: **Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH**
14109 Berlin (DE)

(72) Erfinder:
• **BANHART, John**
14532 Klein-Machnow (DE)
• **GARCIA-MORENO, Francisco**
14482 Potsdam (DE)

(74) Vertreter: **Rudolph, Margit**
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH
KGF-PATENTE
Glienicker Strasse 100
14109 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 804 982 **WO-A-02/22295**
WO-A-20/05011901 **DE-C1- 4 018 360**

- **KRETZ R: "PERMANENT ALUMINIUM FOAM CORES IN CASTINGS: CASTING PROCESSES AND FABRICATION CONDITIONS OF FOAM FILLED PARTS" MATERIALS SCIENCE FORUM, AEDERMANNSDORF, CH, Bd. 369 - 402, Nr. PART 2, 2002, Seiten 1609-1614, XP009037880 ISSN: 0255-5476**
- **BANHART J: "MANUFACTURING ROUTES FOR METALLIC FOAMS" JOM, MINERALS METALS & MATERIALS SOCIETY, WARRENDALE, PA, US, Bd. 52, Nr. 12, Dezember 2000 (2000-12), Seiten 22-27, XP009012096 ISSN: 1047-4838**

EP 1 915 226 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur pulvermetallurgischen Herstellung von Metallschaumstoff und von Teilen aus Metallschaumstoff. Metallschaumstoff wird üblicherweise auch Metallschaum genannt.

[0002] Wässrige Lösungen, Kunststoffe oder Glas können geschäumt werden. Es hat in den letzten Jahrzehnten immer wieder Bestrebungen gegeben, auch Metalle zu schäumen und neuartige Schaumstoffe herzustellen, die aufgrund der Kombination der typischen Schaummorphologie mit den bekannten Vorzügen metallischer Werkstoffe ein neues Eigenschaftsspektrum aufweisen; Metall steht für Elastizität, Festigkeit und Temperaturbeständigkeit; Schaum steht für geringes Gewicht, Dämpfung, hohe Porosität und eine große spezifische Oberfläche.

[0003] Metallschaum ist ein neuartiger Werkstoff mit gezielt eingebrachter Porenstruktur, er ist nicht brennbar und hat eine große Festigkeit. Schäume aus Metall sind luftige Werkstoffe, die leicht, steif, aber flexibel sind und im Crash-Fall viel Energie aufnehmen. Metallschaum kann auch ein breites Spektrum weiterer technischer Aufgaben erfüllen und ist besonders geeignet für Anwendungen als Wärmedämmung, Geräusch- und Vibrationsdämpfung oder als Stauelement.

[0004] Metallschäume können bis zu 85 Prozent aus Luft und nur zu 15 Prozent aus Metall bestehen, das macht sie sehr leicht. Sie sehen aus wie konventionelle Kunststoffschäume, sind aber viel fester. Die Herstellungsverfahren waren bis vor einigen Jahren zu aufwändig, zu teuer und zu schwierig zu kontrollieren, und die Ergebnisse waren daher nur selten reproduzierbar. Doch mittlerweile gibt es schmelz- und pulvermetallurgische Verfahren, die eine hohe Qualität des geschäumten Metalls versprechen. Zur Herstellung von Metallschäumen sind verschiedene Verfahren bekannt und gebräuchlich. Beispielsweise wird zur Herstellung von Stahlschaum aus Stahlpulver, Wasser und einem Stabilisator bei Raumtemperatur ein Schlicker hergestellt. Dieser Mischung wird Phosphorsäure als Binde- und Treibmittel zugegeben. Im Schlicker finden dann zwei Reaktionen statt, die zur Bildung einer stabilen Schaumstruktur führen. Zum einen entstehen bei der Reaktion zwischen Stahlpulver und Säure Wasserstoffgasbläschen, die ein Aufschäumen bewirken. Zum anderen bildet sich ein Metallphosphat, das durch seine Klebewirkung die Porenstruktur verfestigt. Der so hergestellte Schaum wird getrocknet und anschließend schadstofffrei zum metallischen Verbund gesintert.

[0005] Ein schmelzmetallurgisches Verfahren wird beispielsweise in der EP 1 288 320 A2 beschrieben, indem Gasblasen in eine Schmelze eingebracht werden. Dazu ragt mindestens ein Gaseintragsrohr mit einem definierten Gasaustrittsquerschnitt in die Schmelze hinein durch welches Einzelblasen in die Schmelze geblasen werden. Die Größe der Blasen wird dabei durch die Einstellung der Einströmparame-ter des Gases gesteuert.

[0006] In der EP 1 419 835 A1 wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von fließfähigem Metallschaum mit einer monomodalen Verteilung der Abmessungen der Hohlräume vorgestellt, denen ebenfalls ein schmelzmetallurgisches Verfahren zu Grunde liegt. Dabei ragen mindestens zwei benachbarte gleichartig dimensionierte Eintragsrohre mit einem definierten Abstand zueinander in ein metallurgisches Gefäß mit einer schäumbaren Metallschmelze hinein. In den Bereichen der einragenden Rohrenden werden jeweils Blasen gebildet, wobei unter Aneinanderlegen von Bereichen der Blasenoberflächen und unter Ausformung von Partikel enthaltenden Zwischenwänden eine zusammenhängende Schaumformation gebildet wird.

[0007] Nachteilig ist bei diesen schmelzmetallurgischen Verfahren, dass eine Metallschmelze in reinem Zustand nicht aufschäumbar ist. Zum Zweck der Erzielung einer Aufschäumbarkeit muss vor einer Durchführung des Aufschäumens die Schmelze mit einem viskositätssteigernden Mittel, beispielsweise einem Inertgas (GB 1,287,994), oder mit Keramikpartikel (EP 0 666 784 B) versetzt werden. Nur der an der Schmelzenoberfläche angesammelte Metallschaum ist fließfähig. Dies ist zwar für eine formgebende Verarbeitung des Metallschaumes günstig, kann aber in Folge mangelnder Stabilisierung der metallischen Wände zu einem partiellen Zusammenfallen des gebildeten Metallschaumes und damit zur einer unkontrollierbaren Ausbildung dichter Zonen im Inneren eines so erstellten Gegenstandes führen. Ferner kann ein Teil der gebildeten Blasen bzw. das gelösten Gases während der Erstarrung einer Schmelze aus dieser austreten, so dass ein Einschluss des freigesetzten Gases in der Schmelze nicht erfolgt und folglich die Porosität der mit diesem Verfahren erstellten Gegenstände gering ist. Außerdem sind zur Einbringung der Gasblasen in die Schmelze aufwändige Vorrichtungen erforderlich.

[0008] Ein pulvermetallurgisches Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper wird in der DE 101 15 230 C2 und DE 40 18 360 C1 vorgestellt, bei dem eine Mischung, die ein pulverförmiges metallisches Material, welches mindestens ein Metall und/oder eine Metalllegierung sowie ein gasabspaltendes treibmittelhaltiges Pulver enthält, zu einem Halbzeug kompaktiert wird. Dieses Halbzeug wird unter Temperatureinwirkung aufgeschäumt wobei ein treibmittelhaltiges Pulver verwendet wird, bei dem die Temperatur der maximalen Zersetzung weniger als 120 K unter der Schmelztemperatur des Metalls oder der Solidustemperatur der Metalllegierung liegt. In der WO 2005/011901 A1 wird vorgeschlagen, dass zur Herstellung von Metallteilen mit innerer Porosität zuerst ein schäumbares Halbzeug bestehend aus Metall und mindestens einem bei erhöhter Temperatur Gas abgebenden Treibmittel, bei welchem das Metall eine im Wesentlichen geschlossene Matrix bildet, in welcher Treibmittelteilchen eingelagert sind, hergestellt wird. Eine gesteigerte Güte eines erstellten Metallschaumkörpers soll mit einem Halbzeug erreicht werden, bei wel-

chem die die Treibmittelteilchen einschließende Metallmatrix durch Diffusions- und/oder Press-Schweißung von Metallpartikeln gebildet ist. In einem ersten Schritt werden dazu Metallpartikel und mindestens ein bei erhöhter Temperatur Gas(e) abgebendes Mittel, so genannte Treibmittel, gemischt, worauf in einem zweiten Schritt die Mischung unter erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur zu einem Halbzeug-Teil geformt und dieses bei Aufrechterhaltung der Druckbeaufschlagung unter die Zersetzungs- bzw. Ausgastemperatur des Treibmittels erkalten gelassen oder gekühlt wird. In einem dritten Schritt wird eine Erwärmung des Halbzeugteiles über die Zersetzungstemperatur des Treibmittels und bei Bildung einer inneren Porosität eine Ausformung des Halbzeugs zu einem Metallschaum-Teil erfolgen.

[0009] Ein weitere Verfahren zur Herstellung von Metallschaumkörpern ist in der WO 2004/063406 A2 beschrieben. Dieses Verfahren kann als pulvermetallurgisches oder auch als schmelzmetallurgisches Verfahren angewendet werden. Bei dieser Lösung wird beim Aufschmelzen eines Einsatzmaterials unter Atmosphärendruck in einem offenen Schmelzgefäß ohne Überdruckvorrichtungen und einem gleichzeitigen und/oder darauf folgenden Einbringen von Gas in die flüssige Phase des Einsatzmaterials, durch eingebrachte Treibmittel oder durch Gaseinbringung, eine ausreichende Gasbeaufschlagung der Schmelze erreicht, um bei der Erstarrung derselben die Ausbildung eines Metallschaumkörpers geringer Dichte bewirken zu können. Diese Wirkung kann gemäß der beschriebenen Lösung zur Herstellung eines Metallschaumkörpers gewünschter Form dann nutzbringend ausgenutzt werden, wenn das Flüssigmetall zuerst in eine Form gebracht wird und dann in dieser bei zumindest zeitweilig vermindertem Umgebungsdruck erstarren gelassen wird. Durch eine Verfestigung der Schmelze bei vermindertem Umgebungsdruck, vorzugsweise 0,03 bar bis 0,2 bar, kommt es in der Schmelze zu einer Ausbildung einer Vielzahl von Gasblasen, welche jedoch auf Grund der einsetzenden bzw. fortschreitenden Erstarrung der Schmelze in dieser eingeschlossen werden und so erstellte Metallschaumkörper eine geringe Dichte aufweisen.

[0010] In der JP 01-127631 (Abstract) wird ebenfalls ein Verfahren beschrieben, bei dem analog zur vorgenannten Lösung unter atmosphärischem Druck Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff in das flüssige Metall eingebracht wird oder Treibmittelpartikel, wie Nitrid, Hydrid oder Oxid, durch thermisches Cracken Gas in die Schmelze abgeben. Das mit Gas versetzte flüssige Metall wird in ein Formwerkzeug gegeben und über einen gewissen Zeitraum unter verringertem Druck, bei 400 bis 760 mmHg gehalten.

[0011] Mit derartigen pulvermetallurgischen Verfahren können Metallschaumkörper hoher Qualität bereitgestellt werden. Allerdings sind diese Verfahren bezüglich des eingesetzten Materials und der erforderlichen Vorrichtungen äußerst aufwändig, weil ein Einsatz wenigstens zweier Pulverkomponenten, nämlich von Metallp-

artikeln und Treibstoffpartikeln, notwendig ist. Auch müssen die einzelnen Pulverkomponenten vor einem Erwärmen innig vermengt und die Pulverkörner miteinander gesintert werden, beispielsweise durch heißisostatisches Pressen, um im hergestellten Metallschaumkörper Poren mit einer möglichst homogenen Verteilung zu erzielen. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass bereits vor dem Schmelzen des Metalls Gas aus den Treibmittelpartikel entweicht und sich in Rissen, Defekten, etc. ansammelt. Dadurch entstehen unterschiedlich große und ungleichmäßig verteilte Poren im Metallschaumstoff. Die Porengröße und die Volurpenexpansion sind während des Prozesses schwer regelbar.

[0012] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Herstellung von Metallschaumstoff und von Teilen aus Metallschaumstoff anzugeben, das einfach, ohne Einsatz von Treibmitteln und ohne aufwändige Vorrichtungen durchzuführen ist, wobei die eingeschlossenen Poren möglichst kleinporig sind, ein nahezu gleiches Volumen und eine homogene Verteilung aufweisen. Die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Teile aus Metallschaumstoff sollen eine hohe Maßhaltigkeit aufweisen.

[0013] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst, indem ein pulverförmiges metallisches Material, welches mindestens ein Metall und/oder eine Metalllegierung enthält, gemischt ohne Einsatz von Treibmitteln und anschließend unter mechanischem Druck und einer Temperatur von bis zur 400 C zu einem formstabilen Halbzeug gepresst wird. Dieses Halbzeug wird in eine druckdicht verschließbare Kammer eingelegt, die anschließend druckdicht verschlossen und das Halbzeug bei dem gewählten Anfangsdruck auf die Schmelz- bzw. Solidustemperatur des pulverförmigen metallischen Materials aufgeheizt wird. Nach Erreichen der Schmelz- bzw. Solidustemperatur des pulverförmigen metallischen Materials wird der Druck in der Kammer auf einen gewählten Enddruck reduziert. Dabei schäumt sich das Halbzeug auf ohne Einsatz von Treibmitteln und der sich dadurch gebildete Metallschaumstoff erstarrt während der anschließenden Absenkung der Temperatur. Das Absenken der Temperatur erfolgt nach dem Beginn der Druckreduzierung nach einem vorgegebenen Gradienten, wobei der gewählte Enddruck immer vor dem Erstarren des pulverförmigen metallischen Materials erreicht wird.

[0014] Als besonders vorteilhaft hat sich erwiesen, dass vor bzw. während des Aufheizens des Halbzeugs in der geschlossenen Kammer ein Gasdruck bis ca. 50 bar erzeugt wird. Nach Erreichen der Schmelz- bzw. Solidustemperatur des pulverförmigen metallischen Materials wird der Druck in der geschlossenen Kammer vom Anfangsdruck nach einem vorgegebenen Gradienten bis auf den Enddruck von 1 bar reduziert. Eine andere Alternative besteht darin, dass das Aufheizen des Halbzeugs in der geschlossenen Kammer bei einem Anfangsdruck von ca. 1 bar erfolgt und nach Erreichen der

Schmelz- bzw. Solidustemperatur des pulverförmigen metallischen Materials der Druck in der geschlossenen Kammer auf einen Enddruck von ca. 0,1 bis 0,01 bar nach einem vorgegebenen Gradienten reduziert wird. Es ist aber auch möglich, die Druckreduzierung nach dem Aufschäumen auf andere Enddrücke, beispielsweise von einem Anfangsdruck von bis zu 50 bar auf einen Enddruck von > 1 bar oder aber auch auf < 1 bar zu realisieren.

[0015] In der geschlossenen Kammer kann vorteilhafterweise eine bestimmte Gasatmosphäre geschaffen werden, beispielsweise eine Sauerstoffatmosphäre oder eine Atmosphäre aus feuchter Luft.

[0016] Zur Herstellung des formstabilen Halbzeugs wird das pulverförmige metallische Material vorzugsweise bei einem Gasdruck zwischen 1 und 50 bar sowie einem mechanischen Druck von 200-400 MPa und einer Temperatur von bis zu 400 °C kompaktiert.

[0017] Es ist vorteilhaft, wenn das pulverförmige metallische Material vor dem Kompaktieren zu dem Halbzeug vorbehandelt wird, indem die Oberfläche der einzelnen Körner des pulverförmigen metallischen Materials modifiziert wird, beispielsweise durch oxydieren oder anfeuchten.

[0018] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können auch einfach maßhaltige Metallschaumkörper hergestellt werden, wenn anstelle einer beliebigen druckdichten Kammer ein druckdicht verschließbares Formteilwerkzeug, welches die Form des herzustellenden Metallschaumkörpers aufweist, verwendet wird.

[0019] Ein im Formteilwerkzeug vorhandenes Reservoir gewährleistet, dass der durch das Aufschäumen des Metalls überschüssige Metallschaum aus dem Formteilwerkzeug durch eine Öffnung zu dem Reservoir austreten kann. Dadurch wird auch erreicht, dass das Formteilwerkzeug vollständig mit dem Metallschaum gefüllt ist. Mit der Reduzierung des Drucks wird auch die Temperatur gesenkt, so dass der Metallschaumstoff in der Form erstarrt und dabei die Form des Formteilwerkzeugs annimmt. Nach dem Erstarren des Metallschaums kann der Metallschaumkörper dem Formteilwerkzeug entnommen werden.

[0020] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung können den Unteransprüchen entnommen werden.

[0021] Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens liegen insbesondere darin, dass es möglich ist, Metallschaumstoff bzw. Körper aus Metallschaumstoff, ohne aufwändige Vorrichtungen zum Einbringen von Gasblasen in die Schmelze oder die Verwendung von Treibmitteln, auf einfache Art und Weise herzustellen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Metallschaumstoff mit geringer Dichte hergestellt werden kann, bei dem die Poren kleine Abmessungen (Volumina) aufweisen, nahezu gleichmäßig groß und homogen im gesamten Metallschaumstoff verteilt sind. Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, dass durch einstellbare unterschiedliche Druckdifferenzen zwischen Anfangs- und Enddruck die Poren-

größe und die Volumenexpansion in bestimmten Grenzen sehr einfach und genau wählbar bzw. während des Prozesses einstellbar sind, wobei zwischen der Porengröße und der Volumenexpansion ein unmittelbarer Zusammenhang besteht. D. h. die Porengröße und die Volumenexpansion können, unter Beachtung bestimmter Grenzwerte, dadurch vorbestimmt werden, dass der Anfangsdruck und der Enddruck festgelegt werden. Es ist aber auch möglich, dass bei Beobachtung des Prozesses, dieser jederzeit bei Erreichen einer gewünschten Porengröße bzw. Volumenexpansion beendet werden kann.

[0022] Wenn das Aufschäumen des Halbzeugs aus dem pulverförmigen metallischen Material nicht in einer einfachen Kammer sondern in einem Formteilwerkzeug, erfolgt, kann man auf einfache Weise maßhaltige Metallschaumkörper herstellen.

[0023] Die Erfindung soll nachstehend an Hand von zwei ausgewählten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden:

[0024] Im ersten bevorzugten Verfahren wird ein Metallschaumstoff ohne Verwendung von zusätzlichen gasabgebenden Treibmitteln hergestellt. Dazu wird in einem ersten Prozessschritt Aluminiumpulver (99,7) mit einer durchschnittlichen Korngröße von ca. 20 µm in einem Metallzylinder bei einem Gasdruck von 1 bar sowie bei einem mechanischen Druck von 300 MPa und bei einer Temperatur von ca. 400 °C über einen Zeitraum von 15 min zu einem Halbzeug uni-axial kompaktiert.

Danach wird dieses Halbzeug in einer druckdichten Kammer platziert und unter einer Luftatmosphäre bei einem Anfangsdruck $p_1 = 10$ bar auf eine Temperatur von ca. 700°C erhitzt, die somit etwas oberhalb der Schmelztemperatur des Aluminium von ca. 660°C liegt. Wenn diese Temperatur ausreichend lange aufrecht erhalten bleibt schmilzt das Halbzeug. Sobald das Halbzeug vollständig geschmolzen ist, wird der Gasdruck in der Kammer vom Anfangsdruck $p_1 = 10$ bar auf den Enddruck $p_2 = 1$ bar mit einem Gradienten von 0,2 bar/s reduziert, so dass sich das im Halbzeug eingeschlossene Gas, in dem gleichen Verhältnis wie der Gasdruck in der Kammer reduziert wird, ausdehnt und somit die Probe innerhalb von ca. 45 s zum Schäumen bringt. Die durchschnittliche Porengröße beträgt ca. 2 mm. Abschließend wird die Temperatur in der Kammer mit ca. 5 K/s bis unter die Schmelztemperatur des Aluminium reduziert, so dass der flüssige Aluminiumschaum erstarrt und somit der Aluminiumschaumstoff fest wird.

[0025] In einem weiteren Vergleichsbeispiel wird ein Verfahren dargestellt, mit dem ein Aluminiumschaumstoff unter Verwendung von geringen Mengen von gasabgebenden Treibmitteln hergestellt wird.

[0026] In einem ersten Prozessschritt wird Pulver aus AlSi6Cu4 mit einer durchschnittlichen Korngröße von ca. 20 µm mit 0,5 Gew.% TiH₂, welches eine durchschnittliche Korngröße von ca. 10 µm aufweist, homogen vermischt. Dieses Gemisch wird in einem Metallzylinder bei einem Gasdruck von 1 bar sowie bei einem mechani-

schen Druck von 300 MPa und bei einer Temperatur von ca. 400 °C über einen Zeitraum von ca. 15 min zu einem Halbzeug uni-axial kompaktiert. Danach wird dieses Halbzeug in einer druckdichten Kammer platziert und unter einer Luftatmosphäre bei einem Anfangsdruck von 8 bar auf eine Temperatur von ca. 550°C erhitzt, die somit etwas oberhalb der Solidustemperatur des AlSi6Cu4 von ca. 516°C liegt. Bereits bei Temperaturen oberhalb von 400°C beginnt das Treibmittel Wasserstoff abzugeben. Das im geschmolzenen Aluminium des Halbzeugs freigesetzte und eingeschlossene Gas bildet, durch den äußeren Druck bedingt, sehr kleine Poren, die einen durchschnittlichen Durchmesser von weniger als 0,1 mm aufweisen. Sobald das Halbzeug vollständig geschmolzen ist, wird der Gasdruck in der Kammer vom Anfangsdruck $p_1 = 8$ bar um ca. 3 bar auf einen Enddruck $p_2 = 5$ bar mit einem Gradienten von 0,2 bar/s reduziert. Dabei bringt das im Halbzeug eingeschlossene Gas die Probe innerhalb 15 s zum Schäumen. Nachdem der AlSi6Cu4-Schaum das vorgegebene Volumen erreicht hat, wird die Temperatur mit ca. 5 K/s bis unter die Solidustemperatur von AlSi6Cu4 reduziert, so dass der flüssige AlSi6Cu4-Schaum erstarrt und somit der Schaumstoff fest wird.

[0027] Ein mit diesem Vergleichsverfahren hergestellter AlSi6Cu4-Schaumstoff weist Poren auf, die im Metallschaumstoff homogen verteilt, rund und klein sind, wobei die durchschnittliche Porengröße ca. 0,5 mm beträgt. Die Größe der Poren kann durch den gewählten Druckunterschied zwischen Anfangsdruck und Enddruck ($\Delta p = p_1 - p_2$) einfach über zwei Größenordnungen von ca. 0,1 mm bis ca. 10 mm Durchmesser eingestellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur pulvermetallurgischen Herstellung von Metallschaumstoff und von Teilen aus Metallschaumstoff bei dem ein pulverförmiges metallisches Material, welches mindestens ein Metall und/oder eine Metalllegierung enthält, gemischt und unter mechanischem Druck zu einem formstabilen Halbzeug gepresst wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Halbzeug in eine druckdicht verschließbare Kammer eingelegt wird, anschließend die Kammer geschlossen wird, danach das Halbzeug auf die Schmelz- bzw. Solidustemperatur des pulverförmigen metallischen Materials aufgeheizt wird und nach Erreichen der Schmelz- bzw. Solidustemperatur des pulverförmigen metallischen Materials der Druck in der Kammer von einem Anfangsdruck (p_1) auf einen Enddruck (p_2) reduziert wird, wobei sich das Halbzeug ohne Einsatz von Trabmitteln aufschäumt und der sich gebildete Metallschaum während der anschließenden Absenkung der Temperatur erstarrt.
2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

das pulverförmige metallische Material vorbehandelt wird, indem die Oberfläche der einzelnen Pulverkörner modifiziert wird, beispielsweise durch oxydieren oder anfeuchten.

5

3. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Pulverkörner des pulverförmigen metallischen Materials Abmessungen von durchschnittlich ca. 1 μm bis 100 μm aufweisen.

10

4. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Halbzeug bei einem Gasdruck zwischen 1 und 50 bar sowie einem mechanischen Druck von 200-400 MPa und einer Temperatur von unter 400 °C kompaktiert wird.

15

5. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Halbzeug vorbehandelt wird, indem die Oberfläche modifiziert wird, wie durch oxydieren, eloxieren oder anfeuchten.

20

25

6. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

in der geschlossenen Kammer eine definierte Gasatmosphäre herrscht.

30

7. Verfahren nach Anspruch 6,

dadurch gekennzeichnet, dass

in der geschlossenen Kammer eine Sauerstoffatmosphäre herrscht.

35

8. Verfahren nach Anspruch 6,

dadurch gekennzeichnet, dass

in der geschlossenen Kammer eine Atmosphäre aus feuchter Luft herrscht.

40

9. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

vor bzw. während des Aufheizens des Halbzeugs in der geschlossenen Kammer ein Anfangsdruck (p_1) von bis zu ca. 50 bar erzeugt wird.

45

50

10. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Aufheizen des Halbzeugs in der geschlossenen Kammer bei einem Anfangsdruck (p_1) von ca. 1 bar erfolgt.

50

11. Verfahren nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet, dass

nach Erreichen der Schmelz- bzw. Solidustemperatur des pulverförmigen metallischen Materials der Druck in der geschlossenen Kammer vom Anfangsdruck (p_1) nach einem vorgegebenen Gradienten bis

55

auf den Enddruck (p_2) von ca. 1 bar reduziert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1 oder 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
nach Erreichen der Schmelz- bzw. Solidustempera-
tur des pulverförmigen metallischen Materials der
Druck in der geschlossenen Kammer vom Anfangs-
druck (p_1) nach einem vorgegebenen Gradienten
auf den Enddruck (p_2) von ca. 0,1 bis 0,01 bar redu-
ziert wird. 5
13. Verfahren nach Anspruch 1 und 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Druck in der geschlossenen Kammer vom An-
fangsdruck (p_1) auf den Enddruck (p_2) in einer Zeit-
spanne von ca. 1 s bis 1000 s reduziert wird. 10
14. Verfahren nach Anspruch 1, 10, 12 und 13
dadurch gekennzeichnet, dass
die Temperatur in der Kammer erst nach Beginn der
Druckreduzierung nach einem vorgegebenen Gra-
dienten reduziert wird, wobei die Erstarrungstemp-
eratur des pulverförmigen metallischen Materials erst
nach Erreichen des Enddrucks (p_2) erreicht wird. 15
15. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Größe der Poren im Metallschaumstoff, in einem
Bereich von ca. 0,1 mm bis ca. 10 mm, durch die
Wahl der Druckdifferenz ($\Delta p = p_1 - p_2$) zwischen An-
fangsdruck (p_1) und Enddruck (p_2) gezielt einstellbar
ist. 20
16. Verfahren nach Anspruch 1 und 15,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Zunahme der Porengröße im Metallschaumstoff
durch Beendigung der Druckreduzierung und an-
schließende Absenkung der Temperatur des Metall-
schaums unter die Erstarrungstemperatur des pul-
verförmigen metallischen Materials jederzeit, bei-
spielsweise bei Erreichen einer gewünschten Poren-
größe, beendet werden kann. 25
17. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Volumenexpansion des Metallschaumstoffes,
bis zum etwa Zehnfachen des Ausgangsvolumens,
durch die Wahl der Druckdifferenz ($\Delta p = p_1 - p_2$) zwi-
schen Anfangsdruck (p_1) und Enddruck (p_2) gezielt
einstellbar ist. 30
18. Verfahren nach Anspruch 1 und 17,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Volumenexpansion des Metallschaumstoffes
durch Beendigung der Druckreduzierung und an-
schließende Absenkung der Temperatur des Metall-
schaums unter die Erstarrungstemperatur des pul-
verförmigen metallischen Materials jederzeit, bei-
spielsweise bei Erreichen eines vorgebbaren Volu-
mens, beendet werden kann. 35

spielsweise bei Erreichen eines vorgebbaren Volu-
mens, beendet werden kann.

19. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein maßhaltiger Metallschaumkörper herstellbar ist. 40

Claims

1. A method for the powder-metallurgical production of metal foamed material and of parts made of metal foamed material, in which a pulverulent metallic material containing at least one metal and/or a metal alloy is mixed and pressed to form a dimensionally stable semi-finished product under mechanical pressure, **characterized in that** the semi-finished product is placed into a chamber that can be sealed pressure-tight, the chamber is subsequently sealed and then the semi-finished product is heated up to the melting or solidus temperature of the pulverulent metallic material and, once the melting or solidus temperature of the pulverulent metallic material has been reached, the pressure in the chamber is reduced from an initial pressure (p_1) to a final pressure (p_2), whereby the semi-finished product foams without the use of foaming agents and the metal foam thus formed solidifies during the subsequent lowering of the temperature. 45
2. The method according to claim 1, **characterized in that** the pulverulent metallic material is pretreated **in that** the surface of the individual powder grains is modified, for instance, through oxidation or moistening. 50
3. The method according to claim 1, **characterized in that** the powder grains of the pulverulent metallic material has dimensions that average about 1 μm to 100 μm on the. 55
4. The method according to claim 1, **characterized in that** the semi-finished product is compacted at a gas pressure between 1 bar and 50 bar as well as at a mechanical pressure ranging from 200 MPa to 400 MPa at a temperature of less than 400°C.
5. The method according to claim 1, **characterized in that** the semi-finished product is pretreated **in that** the surface is modified, for instance, through oxidation, electrolytic oxidation or moistening.
6. The method according to claim 1, **characterized in that** a defined gas atmosphere prevails in the sealed chamber.
7. The method according to claim 6, **characterized in that** an oxygen atmosphere prevails in the sealed

chamber.

8. The method according to claim 6, **characterized in that** an atmosphere consisting of moist air prevails in the sealed chamber.
9. The method according to claim 1, **characterized in that** an initial pressure (p_1) of up to approximately 50 bar is generated in the sealed chamber before or while the semi-finished product is being heated up.
10. The method according to claim 1, **characterized in that** the semi-finished product is heat up in the sealed chamber at an initial pressure (p_1) of about 1 bar.
11. The method according to claim 9, **characterized in that**, once the melting or solidus temperature of the pulverulent metallic material has been reached, the pressure in the sealed chamber is reduced according to a prescribed gradient from the initial pressure (p_1) to the final pressure (p_2) of about 1 bar.
12. The method according to claim 1 or 10, **characterized in that**, once the melting or solidus temperature of the pulverulent metallic material has been reached, the pressure in the sealed chamber is reduced according to a prescribed gradient from the initial pressure (p_1) to the final pressure (p_2) of about 0.1 bar to 0.01 bar.
13. The method according to claim 1 and 9 or 10, **characterized in that** the pressure in the sealed chamber is reduced from the initial pressure (p_1) to the final pressure (p_2) within a time span of about 1 second to 1000 seconds.
14. The method according to claims 1, 10, 12 and 13, **characterized in that** the temperature in the chamber is only lowered after the beginning of the pressure reduction according to a prescribed gradient, whereby the solidification temperature of the pulverulent metallic material is only reached after the final pressure (p_2) has been reached.
15. The method according to claim 1, **characterized in that** the size of the pores in the metal foam can be systematically set within a range from approximately 0.1 mm to approximately 10 mm by selecting the pressure differential ($\Delta p = p_1 - p_2$) between the initial pressure (p_1) and the final pressure (p_2).
16. The method according to claims 1 and 15, **characterized in that** the increase of the pore size in the metal foam can be terminated at any time by terminating the pressure reduction and by subsequently lowering the temperature of the metal foam to below the solidification temperature of the pulverulent me-

tallic material for example, once the desired pore size or volume expansion has been reached.

17. The method according to claim 1, **characterized in that** the volume expansion of the metal foam can be systematically set to about ten times the initial volume by selecting the pressure differential ($\Delta p = p_1 - p_2$) between the initial pressure (p_1) and the final pressure (p_2).
18. The method according to claims 1 and 17, **characterized in that** the volume expansion of the metal foam can be terminated by terminating the pressure reduction and by subsequently lowering the temperature of the metal foam to below the solidification temperature of the pulverulent metallic material for example, once a prescribed volume has been reached.
19. The method according to claim 1, **characterized in that** a dimensionally stable metal foam object can be produced.

25 Revendications

1. Procédé de fabrication d'une mousse métallique et de pièces en mousse métallique à partir d'une matière métallique pulvérulente contenant au moins un métal et/ou un alliage métallique, mélangé et comprimé sous une pression mécanique pour former un produit semi-fini de forme stable, **caractérisé en ce qu'** on place le produit semi-fini dans une chambre qui se ferme de manière étanche à la pression, ensuite on ferme la chambre, ensuite on chauffe le produit semi-fini à la température de fusion ou température de solidus de la matière métallique pulvérulente, et après avoir atteint la température de fusion ou température de solidus de la matière métallique pulvérulente on réduit la pression régnant dans la chambre à partir de la pression initiale (p_1) jusqu'à la pression finale (p_2), on expande le produit semi-fini sans utiliser d'agent propulseur, et la mousse métallique formée se fige pendant l'abaissement consécutif de la température.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'** on effectue un traitement préalable de la matière métallique pulvérulente en modifiant la surface superficielle des différents grains de poudre, par exemple par oxydation ou par humidification.
3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**

- les grains de poudre de la matière métallique pulvé-
rulente ont des dimensions moyennes de l'ordre de
1 μm jusqu'à 100 μm .
4. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce qu'
on compacte le produit semi-fini à une pression de
gaz comprise entre 1 et 50 bars et à une pression
mécanique de 200-400 MPa et sous une tempéra-
ture inférieure à 400°C.
5. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce qu'
on effectue un traitement préalable du produit semi-
fini en modifiant la surface par oxydation, anodisa-
tion ou humidification.
6. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce qu'
on établit une atmosphère gazeuse définie dans la
chambre fermée.
7. Procédé selon la revendication 6,
caractérisé en ce qu'
on établit une atmosphère d'oxygène dans la cham-
bre fermée.
8. Procédé selon la revendication 6,
caractérisé en ce qu'
on établit une atmosphère d'air humide dans la
chambre fermée.
9. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce qu'
on génère une pression initiale (p_1) jusqu'à environ
50 bars avant ou pendant le chauffage du produit
semi-fini dans la chambre fermée.
10. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que
le chauffage du produit semi-fini dans la chambre
fermée se fait à une pression initiale (p_1) d'environ
1 bar.
11. Procédé selon la revendication 9,
caractérisé en ce qu'
après avoir atteint la température de fusion ou tem-
pérature de solidus de la matière métallique pulvé-
rulente on réduit la pression dans la chambre fermée
en passant de la pression initiale (p_1) selon un gra-
dient prédéfini jusqu'à la pression finale (p_2) d'en-
viron 1 bar.
12. Procédé selon la revendication 1 ou 10,
caractérisé en ce qu'
après avoir atteint la température de fusion ou tem-
pérature de solidus de la matière métallique pulvé-
rulente on réduit la pression dans la chambre fermée
- en passant selon un gradient prédéfini de la pression
initiale (p_1) jusqu'à la pression finale (p_2) d'environ
0,1 bar jusqu'à 0,01 bar.
13. Procédé selon les revendications 1 et 9 ou 10,
caractérisé en ce qu'
on réduit la pression dans la chambre fermée en
passant de la pression initiale (p_1) à la pression finale
(p_2) dans un intervalle de temps d'environ 1 s jusqu'à
1 000 s.
14. Procédé selon les revendications 1, 10, 12 et 13,
caractérisé en ce qu'
on ne réduit la température dans la chambre qu'
après le début de la réduction de pression selon un
gradient prédéfini, la température de figeage de la
matière métallique à l'état pulvérulent n' étant atteinte
que lorsqu'on atteint la pression finale (p_2).
15. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce qu'
on règle de manière ciblée la dimension des pores
dans la mousse métallique dans une plage d'environ
0,1 mm jusqu'à environ 10 mm par le choix de la
différence de pression ($\Delta p = p_1 - p_2$) entre la pression
initiale (p_1) et la pression finale (p_2).
16. Procédé selon les revendications 1 et 15,
caractérisé en ce qu'
on peut terminer à tout instant l'accroissement de la
taille des pores de la mousse métallique en terminant
la réduction de pression et en abaissant de façon
consécutive la température de la mousse métallique
en dessous de la température de figeage de la ma-
tière métallique pulvérulente, à tout instant, par
exemple lorsqu'on atteint une dimension souhaitée
de pores.
17. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce qu'
on règle de manière ciblée l'expansion volumique
de la mousse métallique jusqu'à environ dix fois le
volume initial par le choix de la différence de pression
($\Delta p = p_1 - p_2$) entre la pression initiale (p_1) et la pres-
sion finale (p_2).
18. Procédé selon les revendications 1 et 17,
caractérisé en ce qu'
on peut terminer l'expansion volumique de la mous-
se métallique en terminant la réduction de pression
et ensuite en abaissant la température de la mousse
métallique en dessous de la température de figeage
de la matière métallique pulvérulente, à tout instant,
par exemple lorsqu'on atteint un volume prédéfini.
19. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce qu'
on réalise une pièce en mousse métallique de di-

mensions données.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1288320 A2 [0005]
- EP 1419835 A1 [0006]
- GB 1287994 A [0007]
- EP 0666784 A [0007]
- DE 10115230 C2 [0008]
- DE 4018360 [0008]
- WO 2005011901 A1 [0008]
- WO 2004063406 A2 [0009]
- JP 1127631 A [0010]