



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 037 305 B4** 2007.05.16

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 037 305.4**

(22) Anmeldetag: **02.08.2005**

(43) Offenlegungstag: **29.03.2007**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **16.05.2007**

(51) Int Cl.⁸: **B22F 3/11 (2006.01)**
C22C 1/08 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH, 14109 Berlin,
DE; Technische Universität Berlin, 10623 Berlin,
DE**

(72) Erfinder:

**Banhart, John, Prof. Dr., 14532 Kleinmachnow,
DE; Garcia-Moreno, Francisco, Dr., 14167 Berlin,
DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht

gezogene Druckschriften:

DE 101 15 230 C2

GB 12 87 994 A

EP 14 19 835 A1

EP 12 88 320 A2

EP 06 66 784 B1

WO 2005/0 11 901 A1

WO 2004/0 63 406 A2

JP 01-1 27 631 A

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur pulvermetallurgischen Herstellung von Metallschaumstoff und von Teilen aus Metallschaumstoff**

(57) Hauptanspruch: 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 aufschäumt und der sich gebildete Metallschaum während der anschließenden Absenkung der Temperatur erstarrt.

Beschreibung

Verbund gesintert.

[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 Stauchelement.

[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.

[0005] 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.

[0006] Zur Herstellung von Metallschäumen sind verschiedene Verfahren bekannt und gebräuchlich.

[0007] 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

[0008] 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 Einströmparameter des Gases gesteuert.

[0009] 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.

[0010] 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.

[0011] Ein pulvermetallurgisches Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper wird in der DE 101 15 230 C2 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.

[0012] 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 Treibmitteleilchen eingelagert sind, hergestellt wird. Eine gesteigerte Güte eines erstellten Metallschaumkörpers soll mit einem Halbzeug erreicht werden, bei welchem die die Treibmitteleilchen 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 Halbzeuges zu einem Metallschaum-Teil erfolgen.

[0013] Ein weiteres 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.

[0014] 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.

[0015] 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 Metallpartikeln und Treibstoffpartikeln, notwendig ist. Auch müssen die einzelnen Pulverkomponenten vor einem Erwärmen innig vermischt und die Pulverkörner miteinander gesintert werden, beispielsweise durch heißisostatisches Pressen, um im hergestellten Metallschaumkörper Poren mit einer möglichst homogenen Verteilung zu erzielen.

[0016] 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.

[0017] Die Porengröße und die Volumenexpansion sind während des Prozesses schwer regelbar.

[0018] 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.

[0019] 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 und anschließend unter mechanischem Druck und einer Temperatur von bis zu 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 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.

[0020] 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.

[0021] 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.

[0022] In der geschlossenen Kammer kann vorteilhafterweise eine bestimmte Gasatmosphäre geschaffen werden, beispielsweise eine Sauerstoffatmosphäre oder eine Atmosphäre aus feuchter Luft.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0025] 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.

[0026] 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.

[0027] Nach dem Erstarren des Metallschaums kann der Metallschaumkörper dem Formteilwerkzeug entnommen werden.

[0028] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung können den Unteransprüchen entnommen werden.

[0029] 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 Porengröße 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.

[0030] 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.

[0031] Die Erfindung soll nachstehend an Hand ei-

nes ausgewählten Ausführungsbeispiels näher erläutert werden:

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.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird ein Verfahren dargestellt, mit dem ein Aluminiumschaumstoff aus AlSi6Cu4 hergestellt wird.

[0035] In einem ersten Prozessschritt wird Pulver aus AlSi6Cu4 mit einer durchschnittlichen Korngröße von ca. 20 µm homogen vermischt. Dieses Gemisch wird 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 ca. 15 min zu einem Halbzeug uni-axial kompaktiert.

[0036] 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. Das im geschmolzenen Aluminium des Halbzeugs 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.

[0037] 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.

[0038] Ein mit diesem Verfahren 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 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.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Modifizierung der Oberfläche durch oxydieren oder anfeuchten erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulverkörner des pulverförmigen metallischen Materials Abmessungen von durchschnittlich ca. 1 µm bis 100 µm aufweisen.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekenn-

zeichnet, 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.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbzeug vorbehandelt wird, indem die Oberfläche modifiziert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Modifizierung der Oberfläche durch oxydieren, eloxieren oder anfeuchten erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der geschlossenen Kammer eine definierte Gasatmosphäre eingestellt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in der geschlossenen Kammer eine Sauerstoffatmosphäre eingestellt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in der geschlossenen Kammer eine Atmosphäre aus feuchter Luft eingestellt wird.

11. 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.

12. 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

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

14. Verfahren nach Anspruch 1 oder 12, 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 auf den Enddruck (p_2) von ca. 0,1 bis 0,01 bar reduziert wird.

15. Verfahren nach Anspruch 1 und 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Druck in der geschlossenen Kammer vom Anfangsdruck (p_1) auf den Enddruck (p_2) in einer Zeitspanne von ca. 1 s bis 1000 s reduziert wird.

16. Verfahren nach Anspruch 1, 12, 14 und 15 dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur in der Kammer erst nach Beginn der Druckreduzierung

nach einem vorgegebenen Gradienten reduziert wird, wobei die Erstarrungstemperatur des pulverförmigen metallischen Materials erst nach Erreichen des Enddrucks (p_2) erreicht wird.

17. 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 Anfangsdruck (p_1) und Enddruck (p_2) gezielt einstellbar ist.

18. Verfahren nach Anspruch 1 und 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Zunahme der Porengröße im Metallschaumstoff durch Beendigung der Druckreduzierung und anschließende Absenkung der Temperatur des Metallschaums unter die Erstarrungstemperatur des pulverförmigen metallischen Materials jederzeit beendet werden kann.

19. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Volumenexpansion des Metallschaumstoffes, bis zum etwa Zehnfachen des Ausgangsvolumens, durch die Wahl der Druckdifferenz ($\Delta p = p_1 - p_2$) zwischen Anfangsdruck (p_1) und Enddruck (p_2) gezielt einstellbar ist.

20. Verfahren nach Anspruch 1 und 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Volumenexpansion des Metallschaumstoffes durch Beendigung der Druckreduzierung und anschließende Absenkung der Temperatur des Metallschaums unter die Erstarrungstemperatur des pulverförmigen metallischen Materials jederzeit beendet werden kann.

21. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei Verwendung eines druckdicht verschließbaren Formteilwerkzeugs ein maßhaltiges Formteil aus Metallschaum herstellbar ist.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen