



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 044 565 A1** 2009.04.02

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 044 565.4**

(22) Anmeldetag: **07.09.2007**

(43) Offenlegungstag: **02.04.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **C22C 1/10** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, 14109 Berlin, DE**

(72) Erfinder:

**Brothers, Alan, Dr., 13353 Berlin, DE; Banhart, John, Prof. Dr., 14532 Kleinmachnow, DE**

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

**US 62 53 831 B1**

**JP 01-108326 A (Abstract); DE C1CCO, Michael (u.a.**

**): Semi-Solid Casting of Metal Matrix Nanocomposit**

**es. In: Solid State Phenomena, 2006, Vol. 116-117, S. 478-483; LI,Xiaochun, YANG,Yong, CHENG,Xudong:**

**Ultrasonic-assisted fabrication of metal matrix nanocomposites. In: Journal of Materials Science 39**

**, 2004, S. 3211-3212; MA,Liqun, CHEN,Fengi, SHU,Gu**

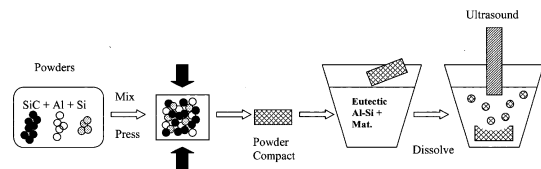
**angji: Preparation of fine particulate reinforced metal matrix composites by high intensity ultrasonic treatment. In: Journal of Materials Science Letters 14, 1995, S. 649-650;**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoffes, Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoff und seine Anwendung**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoffes (MMNC), aufweisend eine Metallmatrix mit darin eingebetteten verstärkenden Nanoteilchen, bei dem eine Schmelze mit allen Bestandteilen des Verbundwerkstoffes einer Ultraschallbehandlung ausgesetzt wird, angegeben, bei dem zunächst sowohl aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix als auch aus pulverförmigen die Matrix verstärkenden Nanoteilchen ein Pressling hergestellt wird, dieser Pressling dann in eine metallische Schmelze, die mindestens die für den Pressling verwendeten Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix enthält, gegeben wird, wobei die Temperatur der Schmelze auf mindestens die Solidustemperatur der Legierung eingestellt wird und die Schmelze mit dem Pressling nun einer Ultraschallbehandlung ausgesetzt wird, nach Erhalt einer homogenen Schmelze diese zwecks Kristallisation abgekühlt wird. Der mit dem Verfahren hergestellte Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoff ist besonders als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Metallschäumen geeignet.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoffes, aufweisend eine Metallmatrix mit darin eingebetteten verstärkenden Nanoteilchen, bei dem eine Schmelze mit allen Bestandteilen des Verbundwerkstoffes einer Ultraschallbehandlung ausgesetzt wird, sowie einen Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoff und seine Anwendung.

**[0002]** In den letzten Jahren wurde den Metallmatrix-Verbundwerkstoffen wegen ihrer guten Eigenschaften wie z. B. große Festigkeit und Härte sowie großem Verschleißwiderstand ein immer stärkeres Interesse entgegengebracht.

**[0003]** Metallmatrix-Verbundwerkstoffe (MMC – metal matrix composite) enthalten im Allgemeinen eine definierte Mischung aus einer Metalllegierung, die die Matrix bildet, und dort eingebettete Teilchen oder Fasern, die diese Struktur verstärken.

**[0004]** Es ist bekannt, dass bei gegebenem Volumenverhältnis der Matrix und der Verstärkungsteilchen die Eigenschaften der MMC durch Verringerung der Größe der Verstärkungsteilchen, beispielsweise Verwendung kleinerer Teilchen oder dünnerer Fasern, positiv beeinflusst werden können. So weisen MMC mit kleinen Verstärkungsteilchen eine bessere Festigkeit bei geringerem Verlust der Dehnbarkeit auf als MMC mit großen Teilchen.

**[0005]** Durch die aktuellen Ergebnisse in der Nanotechnologie ist es nun auch möglich, keramische Teilchen und Fasern im Nanometerbereich herzustellen.

**[0006]** Die dem Stand der Technik nach bisher bekannten Verfahren zur Herstellung von MMC sind nicht geeignet, Nanopartikel, denen der Fachmann eine Größe kleiner 200 nm zuordnet, mittels einfach handhabbarer Verfahren und mit guter Effizienz in eine Metallmatrix einzubauen.

**[0007]** Das allgemein bekannte mechanische Verühren der Schmelze der Metallmatrix-Ausgangsmaterialien und der verstärkenden Teilchen ist nicht geeignet für verstärkende Teilchen mit einer Größe kleiner 10 µm, was zurückzuführen ist auf die adsorbierten Gase und andere an der Oberfläche der verstärkenden Teilchen angelagerten Verunreinigungen/Störungen, wodurch der Einbau der verstärkenden Teilchen in die Metallmatrix durch Clusterbildung und Segregation behindert wird.

**[0008]** So wurde bereits 1995 von Ma u. a. in Journal of Materials Science Letter, 14 (1995) 649–650 eine Ultraschallbehandlung sowohl beim Schmelzprozess der Ausgangsmaterialien der Metallmatrix und der verstärkenden Teilchen als auch beim Ver-

festigungsprozess beschrieben. Es konnten damit Teilchen kleiner 5 µm in die Matrix eingebaut werden. Eine zusätzliche Vorbehandlung mittels Ultraschall der in die Schmelze geschütteten keramischen Teilchen verbesserte den Einschluss der Teilchen in die Matrix weiter.

**[0009]** Zurückzuführen sind diese Ergebnisse darauf, dass Ultraschall in flüssigen Metallen eine Hohlraumbildung bewirkt, die die Oberfläche der verstärkenden Teilchen „säubert“, wodurch ihre Benetzung verbessert wird und sie weniger von der flüssigen Matrix „zurückgewiesen“ werden.

**[0010]** Von einer Forschergruppe der Universität Wisconsin-Madison wurde für die Herstellung von Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoffen (MMNC – metal matrix nanocomposite) ebenfalls eine Ultraschallbehandlung vorgeschlagen. So ist in Solid State Phenomena Vols. 116–117 (2006) pp 478–483 und in Journal of Materials Science 39 (2004) 3211–3212 beschrieben, dass zunächst eine Schmelze der Metallmatrix-Materialien erzeugt wird und dann dieser Schmelze SiC-Nanopartikel einer Größe  $\leq 30$  nm zugeführt werden. Dieses Gemisch wird nun einer Ultraschallbehandlung von 20 min bei einer Temperatur von etwa 100°C oberhalb des Schmelzpunktes der Legierung unterzogen. Alle Verfahrensschritte erfolgen unter Argon-Atmosphäre. Mit dem beschriebenen Verfahren wurden MMNC's aus Al-, Zn- oder Mg-Legierungen mit SiC- oder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nanopartikeln hergestellt, bei denen der Anteil der Nanopartikel 2 vol.% jedoch nicht überstieg. Wie bereits oben ausgeführt ist es aber wünschenswert, den Anteil der Nanopartikel weiter zu erhöhen, da über diesen Parameter die Eigenschaften der MMC – wie beispielsweise ihre Festigkeit – verbessert werden können.

**[0011]** Bei dem in US 6,253,831 beschriebenen Verfahren wird gleichzeitig zur Ultraschallbehandlung zusätzlich die Schmelze aus den Metallmatrix-Ausgangsstoffen, in die die Nanoteilchen – die hierbei mit 500 nm bis 50 µm relativ groß sind – wiederum lose und direkt gegeben werden, mechanisch gerührt. Die Ultraschallbehandlung wird optional auch während des Erstarrens/Verfestigens der Schmelze zur Erhöhung der Homogenität und zur Verringerung der Korngrenzen bzw. zur Verringerung der Segregation eingesetzt. Es wird ausgeführt, dass das mechanische Rühren dann vorteilhaft ist, wenn verstärkende Teilchen in die Metallmatrix eingebettet werden sollen, die ein wesentlich größeres spezifisches Gewicht (Dichte) als die Metallschmelze aufweisen.

**[0012]** Aufgabe der Erfindung ist es nun, ein Verfahren zur Herstellung von Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoffen anzugeben, das mit einfachen Mitteln mit verbesserter Effizienz ausführbar ist und den Einbau von Nanoteilchen mit einem – im Vergleich zum Stand der Technik – größeren Volumanteil in die

Metallmatrix ermöglicht. Es soll außerdem ein Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoff angegeben werden sowie seine Anwendung.

**[0013]** Die Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass erfindungsgemäß zunächst sowohl aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix als auch aus pulverförmigen, die Matrix verstärkenden Nanoteilchen ein Pressling hergestellt wird, dieser Pressling dann in eine metallische Schmelze, die mindestens die für den Pressling verwendeten Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix enthält, gegeben wird, wobei die Temperatur der Schmelze auf mindestens Solidustemperatur der Legierung eingestellt wird, und die Schmelze mit dem Pressling einer Ultraschallbehandlung ausgesetzt wird, nach Erhalt einer homogenen Schmelze diese zwecks Kristallisation abgekühlt wird.

**[0014]** Die oben erwähnten Verfahren nach dem Stand der Technik, bei denen die Verstärkung der Matrix durch Zufügen freier Partikel (Schütten auf die Oberfläche der Schmelze) erzeugt wird, haben den Nachteil, dass zwar die Teilchen von der Schmelze aufgenommen werden, aber gleichzeitig auch eine wesentliche Gasmenge. Dies kann zur Folge haben, dass Teilchen nicht zum Einbau in die Matrix zur Verfügung stehen, d. h. die Dichte des Materials, das sich an der Matrix anlagert (Teilchen und Gas), ist geringer als die der Matrix selbst. Damit bewegt sich dieses Material schneller in Richtung Schmelzoberfläche als dass sich die Teilchen mit der Schmelze vollständig hätten vermischen könnten. Außerdem kann es zu einer Umhüllung der Teilchen mit Gas kommen, wenn die Teilchen einer geschmolzenen Legierung hohen Temperaturen ausgesetzt werden, die darauf zurückzuführen ist, dass die von der Oberfläche adsorbierten Gase in dem beschriebenen Fall schnell desorbiert und freigesetzt werden und somit die Benetzung zwischen ihnen und der Matrix reduziert ist. Aus diesen beiden Effekten resultiert eine geringere Anzahl von Teilchen, die während der Kristallisationsphase in der Matrix gehalten werden. Damit geht eine große Anzahl der verstärkenden Teilchen für den Einbau in die Matrix verloren, da diese an die Oberfläche der Schmelze oder an die Wände des Schmelzgefäßes wandern.

**[0015]** Das erfindungsgemäße Verfahren löst dieses Problem durch die Verwendung eines Presslings, der durch Mischen der verstärkenden Teilchen mit den Materialien der Metallmatrix und anschließendem Heißpressen in einen dichten Körper hergestellt wird. Hierbei werden die störenden adsorbierten Gase vom Pulver weitgehend entfernt, dieses gewissermaßen „getrocknet“, so dass das spätere Entgasen der Teilchen nach dem Einrühren minimiert wird. Das Heißpressen kann auch unter Vakuumbedingungen erfolgen.

**[0016]** Wichtiger ist jedoch der Fakt, dass die verstärkenden Teilchen in dem Pressling eingebettet sind, dessen Dichte höher als die der Schmelze ist. Dadurch sinkt der Pressling in die Schmelze, wodurch das oben beschriebene Problem der Bewegung der Teilchen zur Schmelzoberfläche nicht entsteht. Außerdem geschieht das Freisetzen der verstärkenden Teilchen in die Schmelze auf kontrollierbare Weise durch die hydrodynamische Kavitation aufgrund der Ultraschalleinwirkung. Dabei erodiert die Oberfläche des Presslings langsam und gibt seine Bestandteile langsam in die Schmelze ab. Während des gesamten Erosionsprozesses ist die Menge des freigesetzten Gases gering, wodurch eine Dispersion der Teilchen in der Schmelze mittels Ultraschall bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wesentlich einfacher erfolgt als bei Teilchen, die dem Stand der Technik nach lose in die Schmelze eingebracht werden. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird im Vergleich zum Stand der Technik wesentlich weniger Gas freigesetzt und in der Nähe der verstärkenden Teilchen generiert, wodurch diese Teilchen eine wesentlich bessere Benetzung in der Schmelze aufweisen und die limitierenden und teuren Verluste der Nanoteilchen wesentlich verringert werden konnten.

**[0017]** Zudem findet während der Auflösung des Presslings eine Legierungsbildung zwischen dem metallischen Bestandteil des Presslings und der flüssigen Metalllegierung statt, die zur genauen Einstellung der gewünschten Zusammensetzung benützt werden kann und die von der Zusammensetzung der flüssigen Einsatzlegierung abweichen kann.

**[0018]** In einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, zur Erzeugung des Presslings die pulverförmigen Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix und die verstärkenden Nanoteilchen zunächst zu mischen, dann einer Temperaturbehandlung, vorzugsweise bis ca. 600°C, zu unterziehen und abschließend einem uniachsialen Druck, vorzugsweise zwischen 100 und 500 MPa, auszusetzen, der zu ihrer Konsolidierung führt.

**[0019]** In anderen Ausführungsformen werden als Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix Aluminium und Silizium als Hauptbestandteile der Legierung ausgewählt, vorzugsweise können noch weitere Metalle als Nebenbestandteile der Legierung hinzugefügt werden.

**[0020]** In einer weiteren Ausführungsform werden als verstärkende Nanoteilchen SiC-Teilchen verwendet.

**[0021]** In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform wird das Volumenverhältnis der pulverförmigen Ausgangsmaterialien für die Al-Si-Matrix und der pulverförmigen SiC-Nanoteilchen zwischen 1:10 und 1:2

ausgewählt.

**[0022]** Auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann es von Vorteil sein, wenn – wie aus dem Stand der Technik bereits bekannt – während der Kristallisationsphase der Metalllegierungsschmelze mit den Nanoteilchen eine Ultraschallbehandlung erfolgt.

**[0023]** Eine weitere Ausführungsform der Erfindung sieht vor, die Ultraschallbehandlung bei ca. 20 kHz und einer Amplitude von ca. 50 µm durchzuführen.

**[0024]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist nicht auf die erwähnten Ausführungsformen bezüglich der Materialien für die Metallmatrix und die verstärkenden Teilchen beschränkt. Als Materialien für die Metallmatrix können auch Legierungen höherer Ordnung basierend auf dem bereits erwähnten Al-Si verwendet werden, beispielsweise Al-Si-Mg oder Al-Si-Cu. Für die verstärkenden Teilchen soll als weitere Möglichkeit ohne Beschränkung der Allgemeinheit hier Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> genannt werden.

**[0025]** Erfindungsgemäß wird ein Metallmatrix-Verbundwerkstoff angegeben, aufweisend eine Metallmatrix mit darin eingebetteten verstärkenden Teilchen, herstellbar durch die folgenden Verfahrensschritte: Herstellung eines Presslings sowohl aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix als auch aus pulverförmigen, die Matrix verstärkenden Nanoteilchen, Positionieren des Presslings in eine Schmelze mit den Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix, wobei die Temperatur der Schmelze auf mindestens die Solidustemperatur der Legierung eingestellt wird, und Ultraschallbehandlung der Schmelze mit dem Pressling bis eine homogene Schmelze vorliegt und abschließend Abkühlen der homogenen Schmelze zwecks Kristallisation.

**[0026]** In einer Ausführungsform hierzu ist die Metallmatrix aus einer Aluminium-Legierung gebildet und die die Matrix verstärkenden Nanoteilchen sind SiC-Teilchen, die eine Größe von max. 80 nm und einen Volumenanteil von mindestens 5 vol.% aufweisen.

**[0027]** Der mit dem Verfahren gemäß Anspruch 1 hergestellte Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoff kann als Ausgangsmaterial zur Erzeugung von Metallschäumen verwendet werden. Vorzugsweise handelt es sich hierbei um eine Aluminium-Legierung mit SiC-Nanoteilchen einer Größe von max. 80 nm und einem Volumenanteil von mindestens 5 vol.%. Zur Schaumherstellung wird Gas in die wieder aufgeschmolzene oder erst gar nicht abgekühlte MMNC-Schmelze eingebracht. Diese Einbringung erfolgt wie in der Literatur beschrieben durch Zugabe eines chemischen Treibmittels oder durch Einblasen von Gasen durch eine oder mehrere Düsen.

**[0028]** Einerseits ist bekannt, dass teilchenfreie Legierungen schwer zu schäumen sind, da die Teilchen notwendig für die Stabilisierung der dünnen Wände sind, die die Blasen innerhalb eines geschäumten flüssigen Metalls voneinander trennen. Andererseits sollten Metallschäume eine Porosität von oft größer 80 vol.% aufweisen. Beiden Forderungen wird der erfindungsgemäße Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoff gerecht, dessen – im Vergleich zum Stand der Technik – kleineren stabilisierenden Teilchen den Metallschaum effizienter stabilisieren. Damit können die Vorzüge solcher Metallschäume als leichtgewichtige strukturelle Verbundwerkstoffe sowie als multifunktionelle Materialien in Schalldämpfung und -dämmung, für die Filtration und Katalyse und für Schutzeinrichtungen vor Stößen besser genutzt werden. Ein Einsatz der MMNC beispielsweise für Gehäuse (Flugzeug, Auto), Motoren und Scheibenbremsen ist denkbar.

**[0029]** Weitere Ausführungsformen und Vorteile der Erfindung sollen in folgendem Ausführungsbeispiel anhand einer Figur näher erläutert werden.

**[0030]** Die Figur zeigt schematisch ein Beispiel für die erfindungsgemäße Herstellung einer Al-Si-Matrix, die verstärkende SiC-Teilchen enthält.

**[0031]** Zunächst werden die pulverförmigen Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix, nämlich Al und Si, mit den verstärkenden SiC-Teilchen vermischt. Das Verhältnis des (Al + Si)-Pulver zum SiC-Pulver wird entsprechend der gewünschten Volumenzusammensetzung des Metallmatrix-Verbundwerkstoffes zwischen 1:5 und 3:10 ausgewählt. Danach wird diese Mischung in eine dichte Pulverpackung gepresst, beispielsweise durch Erhitzen in einem Presswerkzeug auf eine Temperatur von 400°C in geringem Vakuum. Anschließend wird ein uniachsialer Druck von 300 MPa angelegt. Der nun vorliegende Pressling wird in eine Schmelze, aufweisend weitere Bestandteile der zukünftigen Metallmatrix, eingebracht. Die Temperatur der Schmelze wird hierbei mindestens auf die Solidustemperatur der Legierung eingestellt. Über einen Ultraschallkopf, z. B. aus Titan oder Niob, der einige mm in die Schmelze ragt, wird in die Schmelze Ultraschall mit einer Frequenz von 20 kHz und einer Amplitude von 50 µm eingekoppelt. Die Schmelzenbewegung und lokale Hohlrumbildung (hydrodynamische Kavitation), die durch den Ultraschall hervorgerufen wird, führt zu einer kontrollierten Erosion des Presslings über einen Zeitraum von 10 bis 30 min, während dessen seine Bestandteile in die Schmelze freigesetzt werden. Wegen der hohen Dichte des Presslings treten keine oder nur geringe Verluste bei den verstärkenden Teilchen ein, die bisher aufgetreten sind bei großer Bewegung der Schmelze, durch die in der Schmelze enthaltenen großen Gasmengen oder durch Agglomeration am Rührwerkzeug. Bei dem erfindungsgemäßen Her-

stellungsverfahren entstehen auch keine Oxide an der Matrix-Teilchen-Grenzfläche, wie es der Fall bei den im Stand der Technik beschriebenen Verfahren ist, bei denen die Teilchen der Schmelze in Pulverform zugeführt werden. Ein weiterer Vorteil der Ultraschallbehandlung besteht darin, dass keine Sedimentation der aus dem Pressling gelösten Teilchen auftritt aufgrund der Gravitation, da der Ultraschall eine starke Konvektion der Schmelze induziert, die die Schmelze immer in Bewegung hält. Nachdem der Pressling aufgelöst ist und seine Teilchen homogen in der Schmelze verteilt wurden, wird die Kristallisationsphase durch Abkühlen (nicht dargestellt) eingeleitet. Auch in der Kristallisationsphase kann es von Vorteil sein, die Ultraschallbehandlung fortzuführen, da hierdurch im gesamten Volumen eine homogene Verteilung der Teilchen und eine verbesserte Mikrostruktur der erstarrten/entstehenden Metallmatrix erreicht wird.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 6253831 [\[0011\]](#)

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- von Ma u. a. in Journal of Materials Science Letter, 14 (1995) 649–650 [\[0008\]](#)  
- Solid State Phenomena Vols. 116–117 (2006) pp 478–483 und in Journal of Materials Science 39 (2004) 3211–3212 [\[0010\]](#)

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Herstellung eines Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoffes (MMNC), aufweisend eine Metallmatrix mit darin eingebetteten verstärkenden Nanoteilchen, bei dem eine Schmelze mit allen Bestandteilen des Verbundwerkstoffes einer Ultraschallbehandlung ausgesetzt wird,

**dadurch gekennzeichnet**, dass zunächst sowohl aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix als auch aus pulverförmigen die Matrix verstärkenden Nanoteilchen ein Pressling hergestellt wird, dieser Pressling dann in eine metallische Schmelze, die mindestens die für den Pressling verwendeten Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix enthält, gegeben wird, wobei die Temperatur der Schmelze auf mindestens die Solidustemperatur der Legierung eingestellt wird, und die Schmelze mit dem Pressling nun einer Ultraschallbehandlung ausgesetzt wird, nach Erhalt einer homogenen Schmelze diese zwecks Kristallisation abgekühlt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung des Presslings die pulverförmigen Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix und die verstärkenden Nanoteilchen zunächst gemischt und einer Temperaturbehandlung unterzogen und abschließend einem uniachsialen Druck ausgesetzt werden, der zu ihrer Konsolidierung führt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix Aluminium und Silizium ausgewählt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass neben den Hauptlegierungsbestandteilen Aluminium und Silizium weitere Metalle als Nebenbestandteile ausgewählt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als verstärkende Nanoteilchen SiC-Teilchen verwendet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Volumenverhältnis der pulverförmigen Ausgangsmaterialien für die Al-Si-Matrix und der pulverförmigen SiC-Nanoteilchen zwischen 1:10 und 1:2 ausgewählt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturbehandlung zur Erzeugung des Presslings bei geringem Vakuum bis ca. 600°C durchgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der uniachsiale Druck zur Erzeugung des Presslings zwischen 100 und 500 MPa beträgt.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auch während der Kristallisationsphase eine Ultraschallbehandlung erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 1 und 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Ultraschallbehandlung bei ca. 20 kHz und einer Amplitude von ca. 50 µm erfolgt.

11. Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoff, aufweisend eine Metallmatrix mit darin eingebetteten verstärkenden Teilchen, herstellbar durch die folgenden Verfahrensschritte

- Herstellung eines Presslings sowohl aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix als auch aus pulverförmigen die Matrix verstärkenden Nanoteilchen,
- Positionieren des Presslings in eine Schmelze mit den Ausgangsmaterialien für die Metallmatrix, wobei die Temperatur der Schmelze auf mindestens die Solidustemperatur eingestellt wird, und
- Ultraschallbehandlung der Schmelze mit dem Pressling bis eine homogene Schmelze vorliegt,
- Abkühlen der homogenen Schmelze zwecks Kristallisation.

12. Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoff nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallmatrix aus einer Aluminium-Legierung gebildet ist und die die Matrix verstärkenden Nanoteilchen SiC-Teilchen eine Größe von max. 80 nm und einen Volumenanteil von mindestens 5 vol.% aufweisen.

13. Verwendung eines mit dem Verfahren gemäß Anspruch 1 hergestellten Metallmatrix-Nanoverbundwerkstoffes als Ausgangsmaterial zur Erzeugung von Metallschäumen.

14. Verwendung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Metallmatrix-Verbundwerkstoff eine Aluminium-Legierung mit SiC-Nanoteilchen einer Größe von max. 80 nm und einem Volumenanteil von mindestens 5 vol.% ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

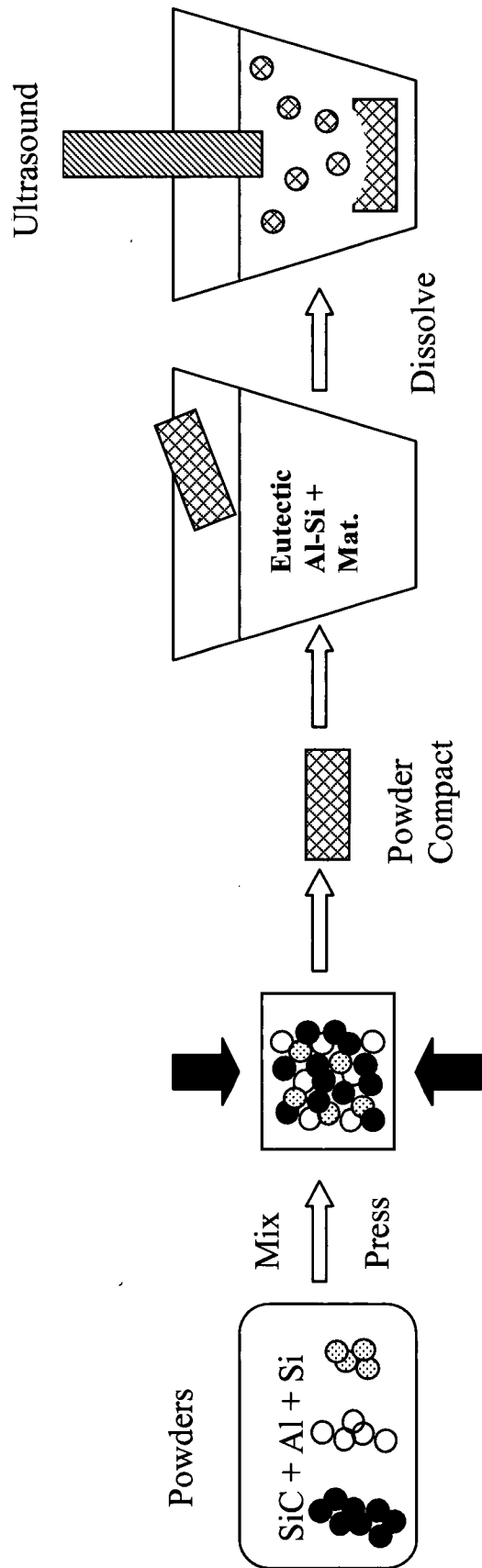


Fig. 1