

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 816/2011  
(22) Anmeldetag: 01.06.2011  
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2013

(51) Int. Cl. : **C22C 21/04** (2006.01)  
**C22C 21/06** (2006.01)  
**C22C 29/12** (2006.01)  
**C22C 32/00** (2006.01)  
**C22C 49/06** (2006.01)

(30) Priorität:  
18.06.2010 DE 102010024669 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 19810979 A1  
US 20060243094 A1  
US 6923935 B1  
DE 102006031213 B3  
DE 10325819 A1

(73) Patentinhaber:  
HELMHOLTZ-ZENTRUM BERLIN FÜR  
MATERIALIEN UND ENERGIE GMBH  
14109 BERLIN (DE)

(72) Erfinder:  
Goarke Sanjeeviah Vinod Kumar  
Berlin (DE)  
Garcia-Moreno Francisco  
Potsdam (DE)  
Banhart John  
Kleinmachnow (DE)

### (54) VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON METALLSCHÄUMEN UND METALLSCHAUM

(57) Bei einem Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen mit stabilisierenden Teilchen in der Metallmatrix, mit mindestens den Verfahrensschritten Herstellen eines schäumbaren Ausgangsstoffes und Aufschäumen dieses Ausgangsstoffes, wobei die stabilisierenden Teilchen bei der Herstellung des schäumbaren Ausgangsstoffes in einer in situ-Reaktion von einem reaktiven Stoff und einer Metallschmelze erzeugt werden, wobei der Metallschmelze der reaktive Stoff hinzugegeben und gemischt wird, wird erfindungsgemäß als reaktiver Stoff  $\text{SiO}_2$  in einem Anteil von 2,5 Gew.% bis 7,5 Gew.% bezogen auf die Metallschmelze unter Rühren in die Metallschmelze gegeben, auf oberhalb 1023 K erwärmt und eine Stunde bis 5 Stunden bei dieser Temperatur gehalten. Dabei werden in der in situ-Reaktion  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  als stabilisierende Teilchen mit einem Durchmesser im Nanometer- bis Submikrometer-Bereich gebildet. In der Metallmatrix des entstehenden Metallschaums, die aus gleichmäßig angeordneten polygonalen Schaumporen mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 1 bis 5 mm gebildet ist, sind die stabilisierenden Teilchen aus  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  zwischen 1 bis 4 Vol.% enthalten und weisen eine Größe zwischen 60 nm und 3  $\mu\text{m}$  auf.

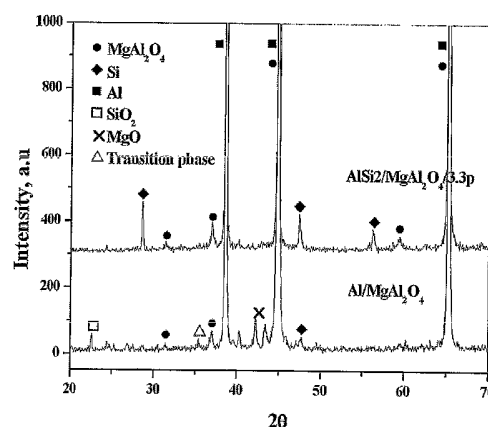


Fig. 4

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen mit stabilisierenden Teilchen in der Metallmatrix, mit mindestens den Verfahrensschritten Herstellen eines schäumbaren Ausgangsstoffes und Aufschäumen dieses Ausgangsstoffes, wobei die stabilisierenden Teilchen bei der Herstellung des schäumbaren Ausgangsstoffes in einer in situ-Reaktion von einem reaktiven Stoff und einer Metallschmelze erzeugt werden, wobei der Metallschmelze der reaktive Stoff hinzugegeben und gemischt wird.

**[0002]** Dem Stand der Technik allgemein bekannt sind verschiedene Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen aus der Metallschmelze, während deren Verlauf in die Metallmatrix stabilisierende keramische Teilchen wie SiC, TiC,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MgO,  $\text{TiB}_2$  oder  $\text{AlB}_2$  eingebaut werden. Diese eingebauten Mikro- oder Nanopartikel beeinflussen solche Eigenschaften des entstehenden Metallschaumes wie Viskosität, Schaumstabilität und gute Schneidbarkeit über ihre Partikelgröße und ihren Volumenanteil. Beispielhaft erwähnt seien hier für die Bildung und den Einbau von stabilisierenden SiC-Teilchen das Gasinjektionsverfahren und das Formgussverfahren.

**[0003]** In Scripta Materialia 54 (2006) 1331-1334 wird über ein PM-Verfahren (Pulvermetallurgie) berichtet, bei dem die Benetzbarkeit beispielsweise von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  durch Zugabe des reaktiven Elements Mg verbessert werden soll. Diese Benetzbarkeit wird beeinflusst durch die Reaktion von Mg und Al an der Metall-Oxid-Grenzfläche, wobei  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  (Spinell) gebildet wird. Bei diesem Verfahren wird Al-Pulver mit  $\text{TiH}_2$ -Pulver gemischt, dann kalt komprimiert. Um die Schaumstabilität zu erhöhen, wird Al-Mg-Pulver und werden  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Partikel zugegeben und für verschiedene Verhältnisse des Gemischs untersucht.

**[0004]** In International Conference „ADVANCED METALLIC MATERIALS“ 5-7 November, 2003, Smolenice, Slovakia, S. 5-15 wird ein Metallschaum beschrieben, bei dem sich eine Spinellschicht ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) auf den Al-Teilchen bildet, wenn das Verhältnis Si/Mg niedrig ist. Wenn mehr Si anwesend ist, bildet sich keine Spinell-Schicht. Der aufschäumbare Ausgangsstoff basierte auf  $\text{AlSi0.8Mg0.8}$  (angegeben in Gew.%) + 10 Vol.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und wurde mittels Gasinjektion aufgeschäumt.

**[0005]** An dieser Stelle sei angemerkt, dass auch im Folgenden die Zusammensetzung der Legierungen in Gew.% angegeben wird, der Anteil der eingebrachten Teilchen in Vol.%, sofern nichts anderes vermerkt ist.

**[0006]** In DE 103 25 819 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung eines Metallschaumkörpers, der nur in seinem Kern eine Schaumstruktur aufweist, beschrieben, bei dem der Metallschmelze nach Verlassen des Vorratsbehälters und vor dem Eintritt in den Formhohlraum ein Treibmittel zugesetzt wird. Weiterhin werden der Metallschmelze vor dem Aufschäumen Zusatzstoffe wie Oxide (beispielsweise  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{TiO}_2$ , CuO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ), Karbonate, Karbide, Reinelemente oder Graphit zugegeben. Diese sollen der Steuerung der Zersetzung des Treibmittels oder der Verbesserung des Aufschäumverhaltens der Metallschmelze dienen oder eine in situ-Oxidation der Metallschmelze bewirken oder auch als Keimbildner bei der Entstehung von Gaspartikeln in der Metallschmelze wirken.

**[0007]** Der Stand der Technik, von dem die Erfindung ausgeht, ist in DE 10 2006 031 213 B3 beschrieben. In dieser Lösung werden stabilisierende Teilchen bei der Herstellung des schäumbaren Ausgangsstoffes in einer in situ-Reaktion von geschmolzenem reaktiven Flüssigkeiten und einer Metallschmelze erzeugt, wobei der Metallschmelze die Bestandteile der erzeugenden Teilchen mit einem Durchmesser im Nanometer- bis Submikrometer-Bereich (wie z. B. TiC-,  $\text{TiB}_2$ - oder  $\text{AlB}_2$ -Partikel) mindestens als Fluoridsalz hinzugegeben, anschließend gemischt und über die Schmelztemperatur der Mischbestandteile erhitzt.

**[0008]** Zwar können mit diesem Verfahren Al-Metallschäume mit TiC- oder  $\text{TiB}_2$ - oder  $\text{AlB}_2$ -Partikeln mit guten Schäumeigenschaften wie gute Viskosität/geringe Sprödigkeit und einfachere Bearbeitbarkeit hergestellt werden, jedoch werden mit dem Einsatz von Fluoriden immer

noch gesundheits- und umweltschädliche Materialien verwendet. Außerdem weisen  $\text{TiB}_2$ -Partikel keine ausreichenden Benetzungseigenschaften für eine effektive Reaktion in der flüssigen Phase bei der Herstellung des schäumbaren Ausgangsstoffes auf.

**[0009]** Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen anzugeben, dass keine gesundheits- und umweltschädlichen Bestandteile benötigt und billiger sein soll als Verfahren gemäß Stand der Technik und bei dem die in situ erzeugten Teilchen mindestens so gute Stabilisierungseigenschaften aufweisen wie im Stand der Technik für andere Partikel erwähnt.

**[0010]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass erfindungsgemäß als reaktiver Stoff  $\text{SiO}_2$  in einem Anteil von 2,5 Gew.% bis 7,5 Gew.% bezogen auf die Metallschmelze unter Rühren in die Metallschmelze gegeben, auf oberhalb 1023 K erwärmt und eine Stunde bis 5 Stunden bei dieser Temperatur gehalten wird und in der in situ-Reaktion  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  als stabilisierende Teilchen mit einem Durchmesser im Nanometer- bis Submikrometer-Bereich gebildet werden.

**[0011]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren, das einfach und preiswert ist, werden in situ Submikrometer große Spinell-Partikel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) erzeugt, die überraschend gute Stabilisierungseigenschaften aufweisen, die besser sind als mit dem Stand der Technik nach bisher bekannten und hier erwähnten Verfahren hergestellte. Das Verfahren liefert auch sehr feine und homogen ausgebildete Teilchen.

**[0012]** In Ausführungsformen der Erfindung ist vorgesehen, dass  $\text{SiO}_2$  dem Schmelzgemisch als feines Pulver mit einer Kornfeinheit von  $< 100 \mu\text{m}$ , vorzugsweise  $< 50 \mu\text{m}$ , zugegeben wird, d.h. als Quarzpulver, oder als feines Pulver mit einer hohen inneren Porosität  $> 20 \%$  und einer Kornfeinheit von  $< 200 \mu\text{m}$  (Microsilica). Die Zugabe von  $\text{SiO}_2$  in die Metallschmelze kann in Raten zu 0,5 Gew.% erfolgen.

**[0013]** Andere Ausführungsformen sehen vor, als Metallschmelze eine Aluminium-Magnesium-Schmelze zu verwenden, wobei das Magnesium in einem Anteil der Schmelze von 0,5 bis 5 Gew.% zugegeben wird.

**[0014]** Als Metallschmelze kann aber auch eine Aluminium-Silizium-Magnesium-Schmelze oder eine Aluminium-Silizium Schmelze verwendet werden, der neben den  $\text{SiO}_2$ -Teilchen auch Mg zugegeben wird.

**[0015]** Eine bezüglich Schäumbarkeit und Viskosität besonders geeignete Metallschmelze wird aus 2,6 Gew.% Magnesium, 5 Gew.%  $\text{SiO}_2$  und Aluminium gebildet. Bei dieser Zusammensetzung der Schmelze wird  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  in großem Anteil in dem schäumbaren Ausgangsstoff gebildet, während  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und einige Übergangphasen nur in geringen Anteilen gebildet werden, was für eine gute Schäumbarkeit Voraussetzung ist.

**[0016]** Das Aufschäumen des Ausgangsstoffes kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, so zum einen dadurch, dass der Schmelze nach in situ-Erzeugung der stabilisierenden Teilchen zum Aufschäumen des Ausgangsstoffes pulverförmiges Metallhydrid, insbesondere  $\text{TiH}_2$ ,  $\text{ZrH}_2$ ,  $\text{CaH}_2$  oder  $\text{MgH}_2$ , oder auch pulverförmiges Carbonat, wie beispielsweise  $\text{Ca}_2\text{CO}_3$ , von 1 bis 3 Gew.% als aufschäumendes Mittel zugegeben, anschließend die Schmelze abgekühlt und dann die Schmelze aufgeschäumt wird. Das eigentliche Aufschäumen kann mit dem Stand der Technik nach bekannten Mitteln (z. B. der Formgrip-Methode oder dem Alporas-Verfahren) erfolgen. Das Aufschäumen des Ausgangsstoffes kann aber auch mittels Gasinjektion bei 973 K erfolgen.

**[0017]** Es konnte festgestellt werden, dass die in situ gebildeten  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Teilchen geeignet sind, die Metallmatrix während der Schaumbildung zu stabilisieren. Die  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Teilchen haben eine Größe zwischen 60 nm und  $3 \mu\text{m}$ . Sie weisen eine gute Benetzbarkeit mit Aluminium auf. Es wurde herausgefunden, dass insbesondere feinkörniges Quarzpulver für die in situ-Bildung von  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Teilchen durch Zugabe in die Metallschmelze geeignet ist. Ein anderer wichtiger Parameter ist der Mg-Anteil in der Metallschmelze, wobei der Einfluss eines relativ großen Anteils auf die Bildung unerwünschter Phasen als auch die größere Reaktionszeit bei

der Bildung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  als gegenläufige Wirkungen beachtet werden müssen.

**[0018]** Die Erfindung umfasst auch einen Metallschaum, enthaltend stabilisierende Teilchen in einer Metallmatrix, wobei die stabilisierenden Teilchen aus  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  gebildet und zwischen 1 bis 4 Vol.% in der Metallmatrix enthalten sind, eine Größe zwischen 60 nm und 3  $\mu\text{m}$  aufweisen und der daraus gebildete Metallschaum ist aus gleichmäßig angeordneten polygonalen Schaumporen mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 1 bis 5 mm, herstellbar durch ein die folgenden Schritte umfassendes Verfahren: Erzeugen der stabilisierenden Teilchen in einer in situ-Reaktion von einem reaktiven Stoff und einer Metallschmelze, wobei der Metallschmelze  $\text{SiO}_2$  zur Erzeugung von  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  als Teilchen mit einem Durchmesser im Nanometer- bis Submikrometer-Bereich hinzugegeben, anschließend gemischt und über die Schmelztemperatur der Bestandteile der Metallschmelze erhitzt wird, danach die Schmelze aus Metall und stabilisierenden Teilchen abgekühlt und abschließend aufgeschäumt wird.

**[0019]** Die Metallmatrix ist insbesondere aus Aluminium und Magnesium gebildet und die Schmelze weist bevorzugt 2,6 Gew.% Magnesium, 5 Gew.%  $\text{SiO}_2$ -Partikel und Aluminium auf.

**[0020]** Die Erfindung soll nun in Ausführungsbeispielen anhand von Figuren näher erläutert werden. Dazu zeigen:

**[0021]** Fig. 1a, 1b: SEM-Aufnahmen der während des Beispiels 4 gebildeten Zusammensetzung des schäumbaren Ausgangsstoffes mit oktahedralen  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Kristallen;

**[0022]** Fig. 2: EDX-Spektrum der während des Beispiels 4 gebildeten  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Kristalle;

**[0023]** Fig. 3: EDX-Spektrum der während des Beispiels 4 gebildeten Al-Mg-O-Übergangsphasen;

**[0024]** Fig. 4: Röntgendiffraktionsaufnahmen von dem schäumbaren Ausgangsstoff gemäß Beispiel 1 und gemäß Beispiel 4;

**[0025]** Fig. 5: Fotoaufnahmen vom geschäumten Ausgangsstoff mit stabilisierenden  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Teilchen;

**[0026]** Fig. 6a-6d: Röntgentomographieaufnahmen von einem schäumbaren Ausgangsstoff im Quer- und Längsschnitt nach 5-minütigem Aufschäumen und nach 8-minütigem Ausschäumen.

**[0027]** Ausführungsbeispiel 1

**[0028]** In diesem ersten Ausführungsbeispiel wird ein aufschäumbarer Ausgangsstoff in der Zusammensetzung Al-Mg $\text{Al}_2\text{O}_4$  durch Untermischen von Quarzpulver in eine Al-5 Gew.% Mg-Schmelze bei 1023 K über 5 Stunden hergestellt. Die entstandene Mischung weist noch einige  $\text{SiO}_2$ -Partikel in der Al-Matrix auf, was eine unvollständige Reaktion vermuten lässt.

**[0029]** Ausführungsbeispiel 2

**[0030]** Einer bei 1023 K erzeugten Al-1 Gew.% Mg-Schmelze wird grobkörniges Quarzpulver zugemischt und eine Stunde gerührt. Eine Erhöhung der Reaktionszeit auf 3 bzw. 5 Stunden hat keine Auswirkung auf die Mikrostruktur, was wahrscheinlich zurückzuführen ist auf den geringeren Mg-Anteil im Vergleich zu Beispiel 1 und auf die grobkörnigen Quarz-Teilchen, die eine Reaktion nicht unterstützen.

**[0031]** Ausführungsbeispiel 3

**[0032]** Einer wiederum bei 1023 K erzeugten Schmelze, nun mit einem größeren Anteil an Mg, nämlich einer Al-5 Gew.% Mg-Schmelze, wird unter Rühren wiederum grobkörniges Quarzpulver zugemischt. Die Reaktionszeit liegt auch hier bei 3 und 5 Stunden. Es wurde gefunden, dass die Mikrostrukturen große Bereiche von Mg-Al-O-Übergangsphasen mit quaderförmiger Morphologie enthalten, außerdem weist diese Zusammensetzung eine hohe Viskosität auf, was zurückzuführen ist auf den größeren Anteil von Mg, was zur Bildung von MgO neigt und damit die höhere Viskosität begründet.

**[0033]** Ausführungsbeispiel 4

**[0034]** Aus den vorangegangenen drei Ausführungsbeispielen ist erkennbar, dass der Mg-Anteil, die Größe der  $\text{SiO}_2$ -Teilchen und die Verfahrensschritte bei der Herstellung des schäumbaren Ausgangsstoffes seine Mikrostruktur beeinflussen.

**[0035]** Im vierten Ausführungsbeispiel wird nun der Mg-Anteil auf etwa die Hälfte im Vergleich zum vorangegangenen Ausführungsbeispiel verringert. So wird das in zwei Stunden bei 923 K vorbehandelte feinkörnige  $\text{SiO}_2$ -Pulver (Durchmesser der Körner 44  $\mu\text{m}$ ) mit einer Al-2,6 Gew.% Mg-Schmelze bei 1023 K gemischt und einer Reaktionszeit von 5 Stunden ausgesetzt. Als Ergebnis konnte eine große Menge sehr feiner  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Teilchen in der  $\text{AlSi}_2$ -Matrix und nur vernachlässigbar wenige Al-Mg-O-Übergangsphasen festgestellt werden, das Gemisch hatte keine unreaktierten  $\text{SiO}_2$ -Teilchen mehr und auch keine anderen Phasen wie MgO oder  $\text{Al}_2\text{O}_3$  wurden festgestellt. In Fig. 1a und 1b kann man gut die oktaedrale Morphologie der  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Teilchen - dargestellt in unterschiedlichen Maßstäben - in der Al-Si-Mg-Matrix erkennen.

**[0036]** Für die in Ausführungsbeispiel 4 hergestellte Probe wurden EDX-Spektren aufgenommen. Dabei bestätigt Fig. 2 die Zusammensetzung der in situ gebildeten stabilisierenden Teilchen, dass es sich hierbei um  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Teilchen handelt, da das At.% Verhältnis von Al/Mg hier ungefähr gleich 2 ist. Fig. 3 zeigt das EDX-Spektrum der Übergangsphasen Al-Mg-O mit Al/Mg = 13,72. Zusammenfassend sind in der folgenden Tabelle die EDX-Resultate der Analyse der stabilisierenden Spinell-Teilchen  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  und der Übergangsphasen Al-Mg-O dargestellt.

Element	$\text{MgAl}_2\text{O}_4$ (At.%)	Al-Mg-O (At.%)	
O	61.99	55.53	43.26
Mg	12.06	9.33	3.76
Al	24.46	34.55	51.61
Al/Mg	2.02	3.70	13.72

**[0037]** Röntgendiffraktionsaufnahmen von den im Ausführungsbeispiel 1 und 4 hergestellten schäumbaren Ausgangsstoffen sind in Fig. 4 gezeigt. Während für die gemäß Ausführungsbeispiel 4 hergestellte Probe nur eine  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ -Phase in der Al-Mg-Si-Matrix nachgewiesen wurde, ist in der gemäß Ausführungsbeispiel 1 hergestellten Probe auch MgO und  $\text{SiO}_2$  vorhanden.

**[0038]** Der Aufschäumprozess wird mittels des FORMGRIP-Verfahrens (Foaming Of Reinforced Metals by Gas Release in Precursors; wobei ein Metalloxid das  $\text{TiH}_2$ -Pulver ummantelt bis zum Eintritt in die Schmelze) bei einer Temperatur von 1018 K durchgeführt. In Fotoaufnahmen in Fig. 5 sind die Ergebnisse für die schäumbaren Ausgangsstoffe  $\text{AlSi}_2/\text{MgAl}_2\text{O}_4/3,38\text{p}$  (a), für  $\text{AlSi}_2/\text{MgAl}_2\text{O}_4/2,53\text{p}$  und  $\text{AlSi}_2/\text{MgAl}_2\text{O}_4/1,7\text{p}$  (wobei p der Anteil der Teilchen im Metallschaum in Vol.% bedeutet) - jeweils hergestellt gemäß Ausführungsbeispiel 4 - für drei unterschiedliche Partikelvolumen (von links nach rechts abnehmend) bei je zwei unterschiedlichen Aufschäumzeiten, nämlich 100 s und 150 s, dargestellt.

**[0039]** Fig. 6a-6d zeigt 2D- und 3D-Röntgentomographieaufnahmen im Querschnitt (Fig. 6a, 6c) und im Längsschnitt (Fig. 6b, 6d) für einen aufschäumbaren Ausgangsstoff hergestellt gemäß Ausführungsbeispiel 4 nach 5-minütigem Aufschäumen (Fig. 6a, 6b) und nach 8-minütigem Aufschäumen (Fig. 6c, 6d). Der Schäumprozess wurde ausgeführt in einer geschlossenen Stahlform mit 40 mm Durchmesser und 50 mm Höhe. Nach einer Aufschäumzeit von 5 min haben sich reguläre Poren gebildet und eine annähernd einheitliche Verteilung der Poren ist zu erkennen, die Gasfraktion beträgt hier  $\sim 0,74$ . Bei der 8-minütigen Aufschäumzeit beträgt die Gasfraktion  $\sim 0,8$ . Zu erkennen im zugehörigen Längsschnitt sind Defekte in den nichtaufgeschäumten Gebieten und in der Zellstruktur.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen mit stabilisierenden Teilchen in der Metallmatrix, mit mindestens den Verfahrensschritten Herstellen eines schäumbaren Ausgangsstoffes und Aufschäumen dieses Ausgangsstoffes, wobei die stabilisierenden Teilchen bei der Herstellung des schäumbaren Ausgangsstoffes in einer in situ-Reaktion von einem reaktiven Stoff und einer Metallschmelze erzeugt werden, wobei der Metallschmelze der reaktive Stoff hinzugegeben und gemischt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass als reaktiver Stoff  $\text{SiO}_2$  in einem Anteil von 2,5 Gew.% bis 7,5 Gew.% bezogen auf die Metallschmelze unter Rühren in die Metallschmelze gegeben, auf oberhalb 1023 K erwärmt und eine Stunde bis 5 Stunden bei dieser Temperatur gehalten wird und in der in situ-Reaktion  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  als stabilisierende Teilchen mit einem Durchmesser im Nanometer- bis Submikrometer-Bereich gebildet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass  $\text{SiO}_2$  als feines Pulver mit einer Kornfeinheit von  $< 100 \mu\text{m}$ , vorzugsweise  $< 50 \mu\text{m}$ , zugegeben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass  $\text{SiO}_2$  als feines Pulver mit einer hohen inneren Porosität  $> 20 \%$  und einer Kornfeinheit von  $< 200 \mu\text{m}$  zugegeben wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass  $\text{SiO}_2$  in Raten zu 0,5 Gew.% zugegeben wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Metallschmelze eine Aluminium-Magnesium-Schmelze verwendet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass Magnesium in einem Anteil von 0,5 bis 5 Gew.% in der Metallschmelze verwendet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Metallschmelze eine Aluminium-Silizium-Magnesium-Schmelze verwendet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Metallschmelze eine Aluminium-Silizium-Schmelze verwendet wird, der neben den  $\text{SiO}_2$ -Teilchen auch Mg zugegeben wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der schäumbare Ausgangsstoff aus 2,6 Gew.% Magnesium, 5 Gew.%  $\text{SiO}_2$ -Partikel und Aluminium gebildet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schmelze nach in situ-Erzeugung der stabilisierenden Teilchen zum Aufschäumen des Ausgangsstoffes pulverförmiges Metallhydrid oder pulverförmiges Carbonat von 1 bis 3 Gew.% als aufschäumendes Mittel zugegeben, anschließend die Schmelze gekühlt und aufgeschäumt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Metallhydrid  $\text{TiH}_2$ ,  $\text{ZrH}_2$ ,  $\text{CaH}_2$  oder  $\text{MgH}_2$  verwendet wird.
12. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der schäumbare Ausgangsstoff durch externe Gasinjektion bei 973 K aufgeschäumt wird.
13. Metallschaum, enthaltend stabilisierende Teilchen in einer Metallmatrix, wobei die stabilisierenden Teilchen aus  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  gebildet und zwischen 1 bis 4 Vol.% in der Metallmatrix enthalten sind, eine Größe zwischen 60 nm und  $3 \mu\text{m}$  aufweisen und der daraus gebildete Metallschaum ist aus gleichmäßig angeordneten polygonalen Schaumporen mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 1 bis 5 mm, herstellbar durch ein die folgenden Schritte umfassendes Verfahren:

Erzeugen der stabilisierenden Teilchen in einer in situ-Reaktion von einem reaktiven Stoff und einer Metallschmelze, wobei der Metallschmelze  $\text{SiO}_2$  zur Erzeugung von  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  als Teilchen mit einem Durchmesser im Nanometerbis Submikrometer-Bereich hinzugegeben, anschließend gemischt und über die Schmelztemperatur der Bestandteile der Metall-

schmelze erhitzt wird, danach die Schmelze aus Metall und stabilisierenden Teilchen abgekühlt und abschließend aufgeschäumt wird.

14. Metallschaum nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Metallmatrix aus Aluminium und Magnesium und Silizium gebildet ist.

**Hierzu 4 Blatt Zeichnungen**



**Fig. 1a**



**Fig. 1b**



2/4

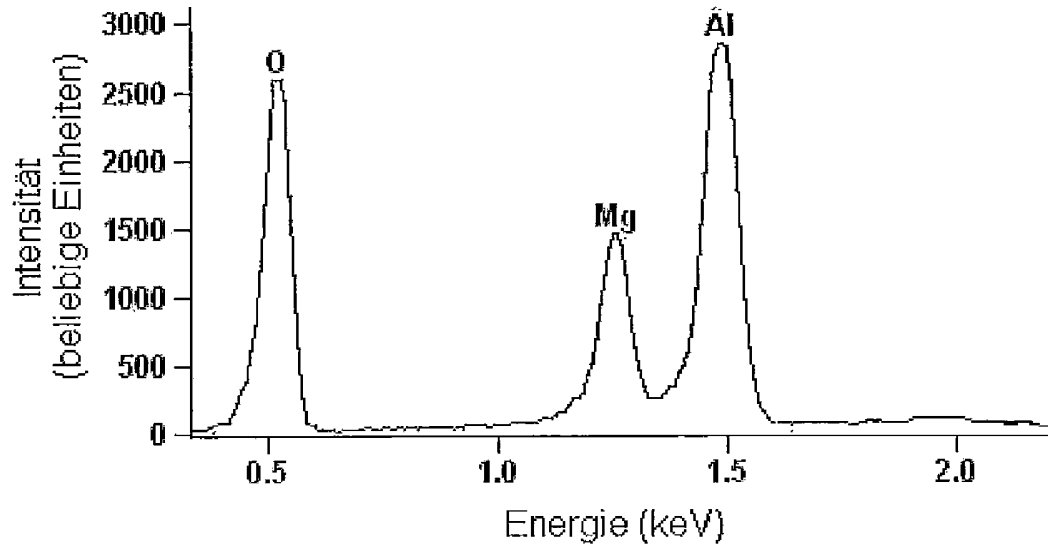


Fig. 2

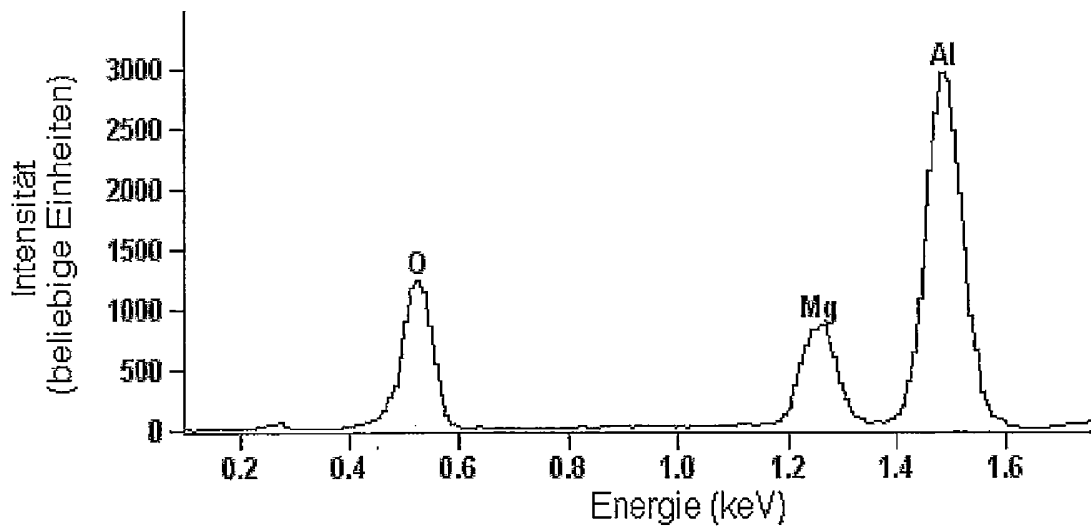


Fig. 3

3/4

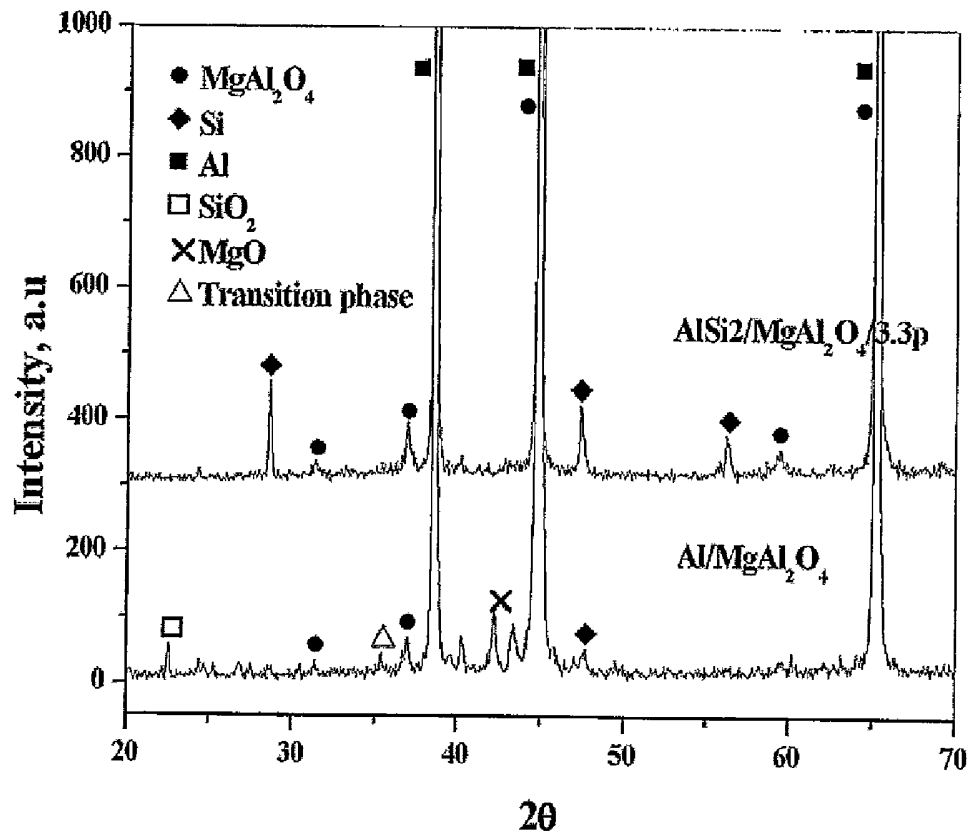


Fig. 4

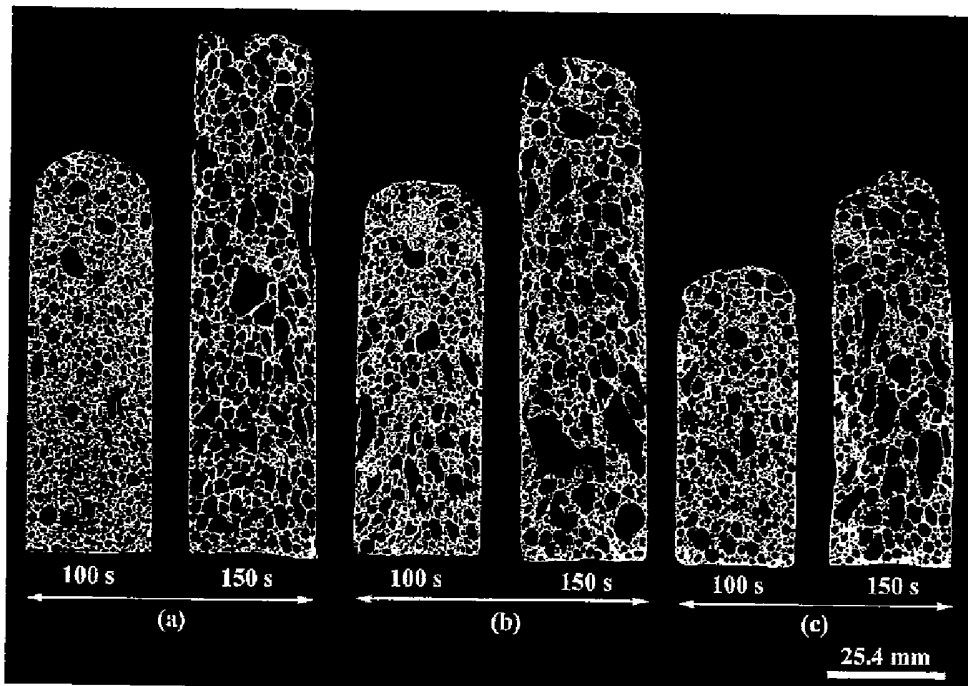


Fig. 5

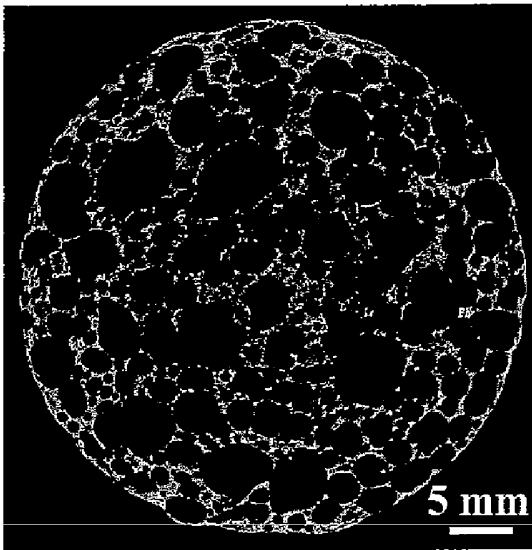


Fig. 6a

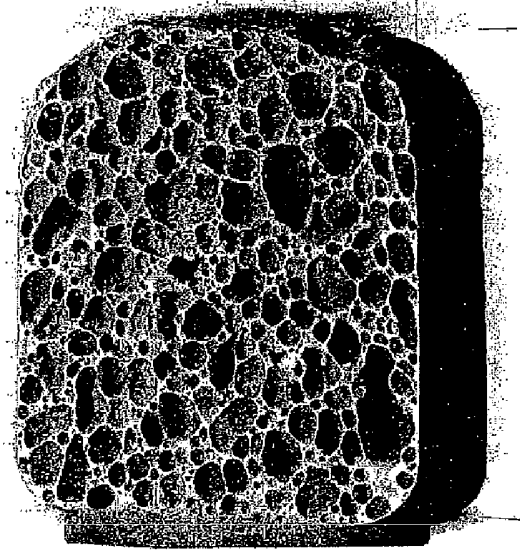


Fig. 6b

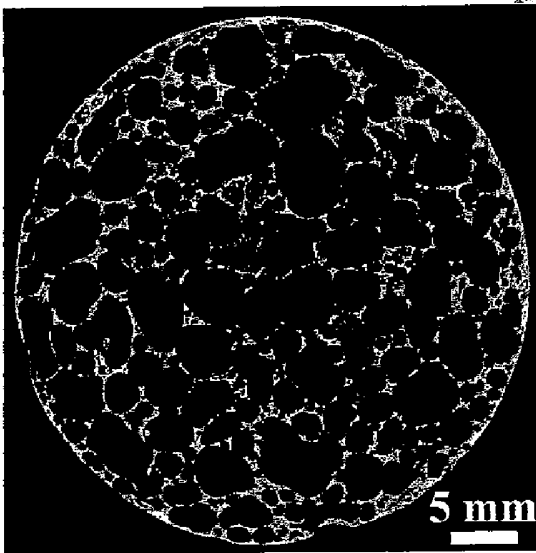


Fig. 6c

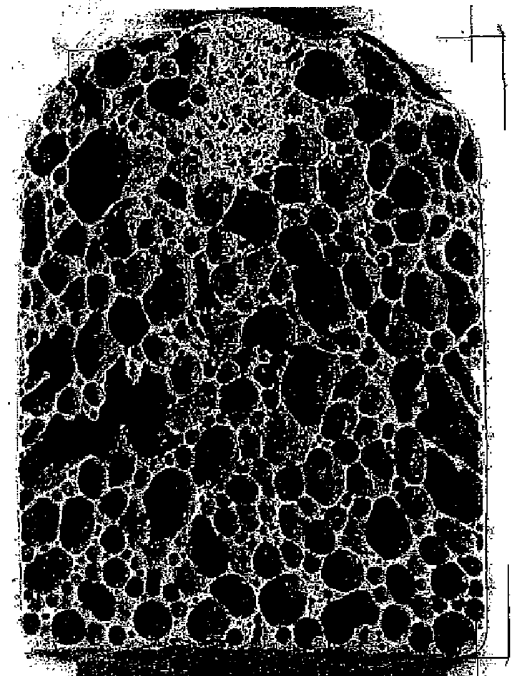


Fig. 6d