



(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2008 027 798 A1 2009.12.24

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2008 027 798.3
(22) Anmeldetag: 11.06.2008
(43) Offenlegungstag: 24.12.2009

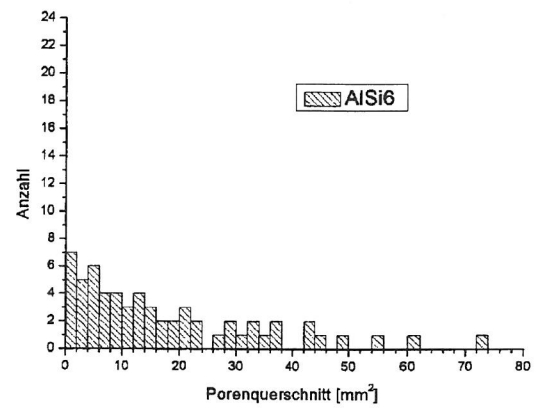
(51) Int Cl.⁸: **C22C 21/06** (2006.01)
C22C 21/02 (2006.01)

<p>(71) Anmelder: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, 14109 Berlin, DE</p> <p>(72) Erfinder: Helwig, Hans-Martin, 63571 Gelnhausen, DE; Banhart, John, Prof. Dr., 14532 Kleinmachnow, DE</p>	<p>(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:</p> <p>JP 03-0 13 294 AA DE 198 52 277 C2</p>
---	--

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Aluminiumlegierung für Metallschäume, ihre Verwendung und Verfahren zur Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Die vorgeschlagene Legierung für Metallschäume des Typs AlMg4(±1)Si8(±1) - Angabe in Gew.-% - ermöglicht die Herstellung eines Metallschaums mit einer feinen Porenstruktur bei hohem Expansionsvermögen, mit guten mechanischen Eigenschaften und guter Korrosionsbeständigkeit. die Legierung kann ebenfalls eingesetzt werden als geschäumtes Kernmaterial für die Herstellung von Aluminiumschaum-Sandwichs.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Aluminiumlegierung für Metallschäume, ein Produkt daraus und ein Verfahren zu seiner Herstellung.

[0002] Dem Stand der Technik nach allgemein bekannt ist die Herstellung von Metallschäumen auf pulvermetallurgische Weise, indem eine Mischung aus Metallpulver und Treibmittel zunächst verdichtet und dann teilweise oder vollständig aufgeschmolzen und nach erfolgter Porenbildung wieder abgekühlt wird. Im aufgeschmolzenen Zustand bildet das vom Treibmittel freigesetzte Gas die Poren in der Schmelze.

[0003] Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise in DE 101 15 230 A1 beschrieben. Als Beispiel wird die Herstellung eines Metallschaumes der Legierung AA6060 (AlMgSi) angeführt.

[0004] Auf der Homepage des Fraunhofer Instituts Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (<http://www.iwu.fraunhofer.de/schaumzentrum/produkte.htm>) sind weitere Aluminiumlegierungen, wie beispielsweise AlSi10 und auch eine 6000er Aluminiumlegierung, nämlich AlMg1Si0,5, angegeben.

[0005] Die bisher dem Stand der Technik nach bekannten und wissenschaftlich untersuchten 6000er AlMgSi-Legierungen, die in geringen Mengen (bis etwa 2%) Si und Mg enthalten, lieferten für die Herstellung von Metallschäumen keine befriedigenden Ergebnisse hinsichtlich des Erhalts einer feinen Porenstruktur bei hohem Expansionsvermögen, guten mechanischen Eigenschaften und guter Korrosionsbeständigkeit.

[0006] Andere derzeit für Metallschäume verwendete technische Aluminiumlegierungen sind die Gusslegierung AlSi7 oder die Legierung AlSi6Cu6 (s. Homepage der Firma alm GmbH am 03.06.08: <http://www.almgmbh.de/html/produkte.html>).

[0007] Weitere Anstrengungen wurden unternommen zur Erzielung der gewünschten Eigenschaften von Aluminiumschäumen durch Variation des Si- und/oder Cu-Gehaltes.

[0008] Zwar haben sich die letztgenannten Al-Si-(beispielsweise AlSi6) und AlSiCu-Gusslegierungen (teilweise mit modifiziertem Cu-Gehalt) etabliert, jedoch wurden auch mit diesen Legierungen die erwünschten und oben erwähnten Eigenschaften bisher nicht erreicht. Hier wird vermutet, dass die genannten Gusslegierungen viel zu geringe Mg- und Si-Gehalte haben, um eine ausreichend große Schmelzmenge zu Beginn des Schmelzvorganges zu erzielen. Zudem ist das Entstehen kleiner Schmelzmengen zu Anfang des Prozesses mit dem Risiko der Kanalbildung im Halbzeug und dem damit

verbundenen Treibgasverlust zu Beginn des Aufschmelzens verbunden.

[0009] Dem Stand der Technik nach allgemein bekannt sind auch Metallschaum-Sandwichs, bei denen zwischen zwei nach außen abschließenden Decklagen ein Metallschaumkern angeordnet ist.

[0010] Derartige Sandwich-Strukturen können durch Verkleben der Decklage mit der Schaumkernschicht hergestellt werden, aber auch, indem das unaufgeschäumte Kernmaterial mit den Decklagen durch Druckeinwirkung in einem Verfahrensschritt metallisch verbunden (s. beispielsweise EP 0 997 215 A2) und erst anschließend mittels thermisch aktivierbaren Treibmittels aufgeschäumt wird.

[0011] Für das letztgenannte Verfahren zur Herstellung von Metallschaum-Sandwichs ist die Wahl der Materialien für den Metallschaumkern und für die Decklagen besonders wichtig, da der Aufschäumprozess besondere Temperaturverhältnisse erfordert. In DE 101 36 370 A1 wird der Verbundwerkstoff-Rohling zu einem Halbzeug umgeformt und durch Erhitzen auf eine Temperatur, die gleichzeitig oberhalb der Ausgastemperatur des Treibmittelpulvers und innerhalb des Solidus-Liquidus-Bereiches des Metallpulvers liegt, zu einem Bauteil aufgeschäumt. Es wird ausgeführt, dass für den Fall, wenn sowohl für die Kernschicht als auch für die Deckschichten das gleiche Material, z. B. Aluminium, verwendet wird, unterschiedliche Schmelztemperaturen durch unterschiedliche Legierungszusätze in Pulver- und Deckschichtmaterialien eingestellt werden können.

[0012] Allgemein ist festzustellen, dass der Beginn des Schmelztemperaturbereiches der dem Stand der Technik nach bekannten Metallschaumlegierungen deutlich oberhalb der Zersetzungstemperatur des üblicherweise verwendeten Treibmittels TiH₂ liegt.

[0013] Aufgabe der Erfindung ist es nun, eine Aluminiumlegierung für Metallschäume vom Typ AlMgSi und eine Verwendung dieser Legierung anzugeben, wobei der Metallschaum eine feine Porenstruktur bei hohem Expansionsvermögen, gute mechanische Eigenschaften und gute Korrosionsbeständigkeit aufweisen soll. Die Aufgabe besteht weiterhin darin, ein Verfahren zur Herstellung eines Produktes aus dieser Aluminiumlegierung anzugeben.

[0014] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Aluminiumlegierung vom Typ AlMgSi die Legierung AlMg4(±1)Si8(±1) – Angabe erfolgt in Gew.% – ist.

[0015] Es hat sich gezeigt, dass die bisher technologisch irrelevante AlMg4Si8-Legierung innerhalb der durch die Pulvermischung technisch realisierbaren Toleranz von ±1% hervorragende Schäumeigen-

schaften und der entstehende Metallschaum eine im Vergleich zum Stand der Technik deutlich feinere Porenstruktur aufweist.

[0016] Zurückgeführt werden kann dies auf positive Auswirkungen des enthaltenen Mg, wie die Verringerung der Oberflächenspannung der Schmelze und seine starke Oxidationsneigung – da eine schnelle Oxidbildung die Zellwände der entstehenden Poren stabilisiert – und die Erhöhung der Schmelzviskosität, die Drainage verringert wird und ebenfalls zur Stabilität der Porenstruktur im flüssigen Bereich beiträgt.

[0017] Die verbesserten Eigenschaften können auch auf das besondere Schmelzverhalten der erfindungsgemäßen Legierung zurückgeführt werden, welches charakterisiert wird durch die Funktion des Flüssigvolumenanteils in Abhängigkeit von der Temperatur der Schmelze. Die Legierung erzeugt während des Aufschäumprozesses bei 560°C isotherm einen Anteil von etwa 50% ternär-eutektischer Schmelze und hat eine Liquidustemperatur von ca. 600°C, wodurch die präzise Einstellung einer für die Schaumexpansion optimalen Zähigkeit der Schmelze ermöglicht wird.

[0018] Gegenüber den oben im Stand der Technik erwähnten Cu-haltigen Legierungen besteht zudem der Vorteil höherer Duktilität und besserer Korrosionsbeständigkeit des fertigen Produkts.

[0019] Erfindungsgemäß wird die beanspruchte Legierung als geschäumtes Kernmaterial in Aluminiumschaum-Sandwichs verwendet.

[0020] Bei dem Verfahren zur Herstellung des Metallschaumes aus der beanspruchten Legierung wird zunächst eine Metallpulvermischung für die Legierung $\text{AlMg}_4(\pm 1)\text{Si}_8(\pm 1)$ hergestellt und zu einem schäumbaren Halbzeug verdichtet und anschließend dieses Halbzeug mit bekannten Mitteln aufgeschäumt.

[0021] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung des Kernmaterials aus der beanspruchten Legierung wird zunächst eine Metallpulvermischung für die Legierung $\text{AlMg}_4(\pm 1)\text{Si}_8(\pm 1)$ erzeugt und zu einer schäumbaren Kernlage verdichtet, danach wird diese Kernlage zwischen zwei Deckbleche einer 6000er Legierung angeordnet und diese Anordnung in einen festen metallischen Verbund überführt, anschließend wird dieser Verbund bis auf eine Temperatur, die geringfügig niedriger ist als die Solidustemperatur der 6000er Legierung, erhitzt und bei Erreichen der gewünschten Dicke des geschäumten Kernmaterials der Aufschäumprozess durch Kühlen unter die Solidustemperatur des Kernmaterials gestoppt.

[0022] Die Metallpulvermischungen bedeuten im

Zusammenhang mit der Erfindung Mischungen aus Legierungspulvern, d. h. Pulvern aus solchen Materialien, aus denen die vorgeschlagene Legierung besteht, und in solchen Gewichtsanteilen der einzelnen Komponenten, die zu dieser Legierung führen. Dabei ist es unerheblich, ob Pulver aus den drei Legierungsbestandteilen einzeln oder z. B. auch bereits zwei Legierungskomponenten enthaltende Pulver, denen die fehlenden Bestandteile zugemischt werden, verwendet werden.

[0023] In Ausführungsformen der Erfindung ist deshalb beispielhaft vorgesehen, dass als Metallpulvermischung für die Legierung $\text{AlMg}_4(\pm 1)\text{Si}_8(\pm 1)$ eine Mischung der einzelnen Legierungsbestandteile verwendet wird, insbesondere in der Zusammensetzung 50 Gew.% AlMg_8 , 8 Gew.% Si und 41 Gew.% Al bzw. in Elementarzusammensetzung 88 Gew.% Al, 4 Gew.% Mg und 8 Gew.% Si. Eine andere Ausführungsform sieht eine Metallpulvermischung aus 8 Gew.% des zweikomponentigen Legierungspulvers AlMg_{50} , 8 Gew.% Si und 84 Gew.% Al vor.

[0024] Die Verwendung einer Legierungspulvermischung hat den Vorteil, dass der unerwünschte Abbrand des Mg-Anteils im Herstellungs- und im Schäumprozess der erfindungsgemäßen Legierung verhindert wird.

[0025] Auch das optional vorgesehene Ausschließen bzw. Entfernen von Fremdgasen (z. B. Sauerstoff) und deren Verbindungen mit den Metallpulvern bei der Herstellung des schäumbaren Halbzeuges oder der schäumbaren Kernlage verhindert den unerwünschten Abbrand des Mg-Anteils.

[0026] Es wurde festgestellt, dass der Aufschäumprozess für die erfindungsgemäße Legierung sowohl mit als auch ohne Treibmittel erfolgreich verläuft.

[0027] Wird – wie in einer weiteren Ausführungsform – ein Treibmittel verwendet, so ist vorgesehen, die Zersetzungstemperatur des Treibmittels und die Schmelztemperatur der Metallpulvermischung möglichst nahe zueinander, d. h. wenige Grade unterhalb der Zersetzungstemperatur, einzustellen, damit eine hochviskose große Schmelzmenge bei der Zersetzungstemperatur zur Verfügung steht. Der Verwendung eines Treibmittels hat den Vorteil, dass der Schäumprozess insbesondere über die Temperatur gut steuerbar ist und damit sehr sauber abläuft.

[0028] Die Erfindung wird in folgenden Ausführungsbeispielen veranschaulicht.

[0029] Die Figuren zeigen:

[0030] **Fig. 1** bis **Fig. 3**: die Porengrößenverteilung der bekannten Legierungen AlMg_6Si_6 und AlSi_6 im Vergleich zur erfindungsgemäßen Legierung

AlMg₄Si₈ entsprechend;

[0031] **Fig. 4:** die gemessene Expansion bei verschiedenen Heizleistungen für die erfindungsgemäße Legierung und die bekannten Legierungen AlMg₆Si₆ und AlSi₆;

[0032] **Fig. 5:** Schaumqualität der Legierung AlMg₄Si₈ in Abhängigkeit der Konzentration der Legierungselemente Magnesium und Silizium.

1. Beispiel

[0033] Für die Herstellung eines zylindrischen Bauteils aus Aluminiumschaum der erfindungsgemäßen Legierung wird zunächst eine Pulvermischung aus 1 Gew.% TiH₂, 8 Gew.% Si, 4 Gew.% Mg und 87 Gew.% Al hergestellt. Diese wird dann bei einer Temperatur von 400°C, einem Pressdruck von 195 MPa und 300 s Presszeit uniaxial zu einem tablettenförmigen Halbzeug verdichtet, was anschließend in einer zylindrischen Stahlblechform so lange erhitzt wird, bis die Metallpulvermischung vollständig aufgeschmolzen ist. Während dieses Prozesses bildet sich aus den einzelnen Metallpulvern die Legierung AlMg₄Si₈. Der Aufschäumprozess erfolgt in bekannter Weise durch die Zersetzung des Treibmittels TiH₂, wodurch Gasblasen im Halbzeug gebildet werden. Hat der Schaum die zylindrische Stahlblechform ausgefüllt, wird sie dem Ofen entnommen. Der Schäumprozess stoppt durch das Abkühlen der Form unter die Solidustemperatur der Schmelze.

[0034] Das zylindrische Bauteil aus der Legierung AlMg₄Si₈ weist neben einer geringen Dichte und einer homogenen Porenstruktur ebenso eine gute Korrosionsbeständigkeit und hohe Duktilität auf.

2. Beispiel

[0035] Für die Herstellung eines Aluminiumschaum-Sandwichs wird zunächst eine Metallpulvermischung aus 50 Gew.% der Aluminiumlegierung AlMg₈, 8 Gew.% Si und 41 Gew.% Aluminium hergestellt und anschließend zu einer Kernlage verdichtet. Diese Kernlage wird in einem nächsten Schritt mit Deckblechen einer aushärtbaren Legierung der Serie 6000 in einen festen, metallischen Verbund überführt. Dies kann beispielsweise mittels Walzplattierens oder eines anderen bekannten Verfahrens erfolgen. Dieser Verbund wird nun so lange erhitzt, bis eine minimal niedrigere Temperatur, hier 590°C, als die Solidustemperatur der Deckbleche, die bei ca. 600°C liegt, erreicht ist, und dadurch der Aufschäumprozess startet. Während des Aufschäumens bildet sich die Aluminiumlegierung AlMg₄Si₈ in der Schaumkernlage.

[0036] Bei Erreichen der gewünschten Schaumschichtdicke wird der Aufschäumprozess durch Küh-

len unter die Solidustemperatur der Schaumkernlegierung, beispielsweise bis auf eine Temperatur zwischen 555°C und 560°C gestoppt. Nun kann bei Bedarf direkt im Anschluss oder zu einem späteren Zeitpunkt eine Wärmebehandlung des erzeugten Aluminiumschaum-Sandwichs erfolgen.

[0037] Auch diese Aluminiumschaum-Sandwichs weisen einen hohen Expansionsgrad der Schaumkernlage sowie gute mechanische Eigenschaften und eine gute Korrosionsbeständigkeit auf.

[0038] Die gute Qualität des aus der erfindungsgemäßen Legierung erzeugten Metallschaumes soll nun anhand der beiden Parameter Porengrößenverteilung und erreichte Expansionshöhe im Vergleich zu den bekannten Legierungen AlSi₆ und AlMg₆Si₆ gezeigt werden.

[0039] In den **Fig. 1** bis **Fig. 3** sind die Porengrößenverteilungen für die Materialien AlSi₆ und AlMg₆Si₆ sowie die erfindungsgemäße Legierung AlMg₄Si₈ als Ergebnis einer digitalen Bildanalyse in Balkendiagrammen dargestellt. Im Vergleich zu den Magnesiumhaltigen Schaumproben weist die Magnesiumfreie Probe aus der Legierung AlSi₆ eine gröbere Porenstruktur auf. Da der Unterschied mit bloßem Auge schwierig zu beurteilen ist, wurden die einzelnen Porenquerschnitte vermessen und in Größenklassen von 2 mm² Breite sortiert. In den Balkendiagrammen der **Fig. 1** bis **Fig. 3** wird nun der Unterschied zwischen den Porenstrukturen deutlich. Während die Magnesiumhaltigen Legierungen bei etwa 20 mm² eine Obergrenze für die Porengröße mit relativ scharfer Abgrenzung erkennen lassen, läuft die Porengrößenverteilung der Legierung AlSi₆ eher flach zu höheren Porengrößen um 60 mm² aus und es gibt keine scharfe Obergrenze.

[0040] In den in **Fig. 1** bis **Fig. 3** dargestellten Balkendiagrammen ist für die Porengrößenverteilung festzustellen, dass diese für AlMg₆Si₆ nur geringfügig schlechter ist als für AlMg₄Si₈, für AlSi₆ jedoch sehr stark abweicht.

[0041] Die in **Fig. 4** dargestellte Expansion für eine mittlere Aufheizrate von 2,6 K/s bzw. von 1,2 K/s ist für AlSi₆ und die erfindungsgemäße Legierung sehr ähnlich, jedoch ist für AlMg₆Si₆ eine niedrigere Expansion gemessen worden.

[0042] Wie bereits oben erwähnt ist festgestellt worden, dass es für eine gute Qualität – nämlich eine hohe Expansion und eine feinporige Struktur – des Metallschaumes von Vorteil ist, wenn eine zum Einschließen des frei gesetzten Gases ausreichende Schmelzmenge bei konstanter Temperatur erzeugt wird, da die Treibmittelzerersetzung ohne gleichzeitigen Temperaturanstieg nur sehr langsam verläuft und somit Gasverluste durch beim Anschmelzen ge-

bildete Kanäle vermieden werden. Diese darf allerdings nicht zu groß sein, da die verbliebenen ungeschmolzenen Bestandteile der Schmelze durch die hohe Viskosität im 2-Phasengebiet der Legierung unerwünschte Effekte (Drainage, Schaumkollaps) vermeiden. In der Praxis hat sich gezeigt, dass bei binären AlSi-Legierungen die Menge der isotherm entstehenden Schmelze ca. 50% beträgt.

[0043] Bei der erfindungsgemäßen Legierung AlMg4Si8 ist es nun möglich, diesen Anteil durch das ternäre Eutektikum Schmelze \leftrightarrow Al + Mg₂Si + Si zu erzeugen, was sowohl zu einer feinen Porenstruktur als auch zu einer hohen Expansion – und damit zu einer besseren Schaumqualität im Vergleich zu den dem Stand der Technik nach bekannten Legierungen – führt.

[0044] In Fig. 5 ist schematisch die Schaumqualität, welche sich aus der Expansion und der Porengrößenverteilung ergibt, in Abhängigkeit der Konzentration der Legierungselemente Magnesium und Silizium dargestellt. Bei Verwendung der Legierung AlMg4Si8 zeigt die Schaumqualität ein Maximum. Bereits geringfügige Abweichungen von der Zusammensetzung der erfindungsgemäßen Legierung führen zu einem merklichen Verlust an Schaumqualität durch Sinken der Expansion und/oder Vergrößerung der Porenstruktur.

ZITATE ENHALTEN 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

- DE 10115230 A1 **[0003]**
- EP 0997215 A2 **[0010]**
- DE 10136370 A1 **[0011]**

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- <http://www.iwu.fraunhofer.de/schaumzentrum/produkte.htm> **[0004]**
- <http://www.almgmbh.de/html/produkte.html> **[0006]**

Patentansprüche

1. Aluminiumlegierung für Metallschäume, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese Aluminiumlegierung AlMg4(±1)Si8(±1), angegeben in Gew.%, ist.

2. Verwendung der Legierung gemäß Anspruch 1 als geschäumtes Kernmaterial für die Herstellung von Aluminiumschaum-Sandwichs.

3. Verfahren zur Herstellung des Metallschaumes aus einer Legierung gemäß Anspruch 1, wobei
 – zunächst eine Metallpulvermischung für die Legierung AlMg4(±1)Si8(±1) hergestellt und zu einem schäumbaren Halbzeug verdichtet und
 – anschließend mit bekannten Mitteln aufgeschäumt wird.

4. Verfahren zur Herstellung des Kernmaterials gemäß Anspruch 1 und 2, wobei
 – zunächst eine Metallpulvermischung für die Legierung AlMg4(±1)Si8(±1) hergestellt und zu einer schäumbaren Kernlage verdichtet wird,
 – diese Kernlage zwischen zwei Deckbleche einer 6000er Legierung angeordnet und diese Struktur in einen festen metallischen Verbund überführt wird,
 – danach dieser Verbund bis auf eine Temperatur geringfügig niedriger als die Solidustemperatur der 6000er Legierung für den Aufschäumprozess erhitzt wird und
 – bei Erreichen der gewünschten Dicke des geschäumten Kernmaterials der Aufschäumprozess durch Absenken der Temperatur unter die Solidustemperatur des Kernmaterials gestoppt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass als Metallpulvermischung eine Mischung der Legierungsbestandteile verwendet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallpulvermischung die folgenden Legierungsbestandteile aufweist: 50 Gew.% AlMg8, 8 Gew.% Si und 41 Gew.% Al.

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallpulvermischung die Legierungsbestandteile in der Elementarzusammensetzung 88 Gew.% Al, 4 Gew.% Mg und 8 Gew.% Si aufweist.

8. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallpulvermischung aus 8 Gew.% des zweikomponentigen Legierungspulvers AlMg50, 8 Gew.% Si und 84 Gew.% Al gebildet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass Fremdgase und deren Verbindungen mit den Metallpulvern bei der Herstellung des schäumbaren Halbzeuges oder der schäumbaren

Kernlage ausgeschlossen oder entfernt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass für den Aufschäumprozess ein Treibmittel verwendet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Schmelztemperatur der Metallpulvermischung wenige Grad unterhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels eingestellt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

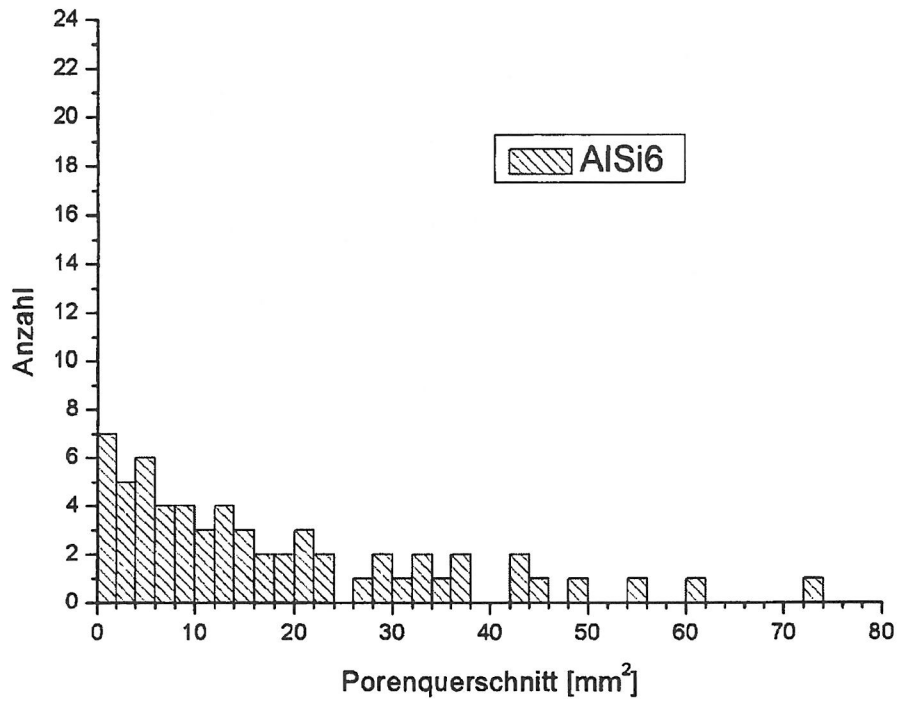


Fig. 1

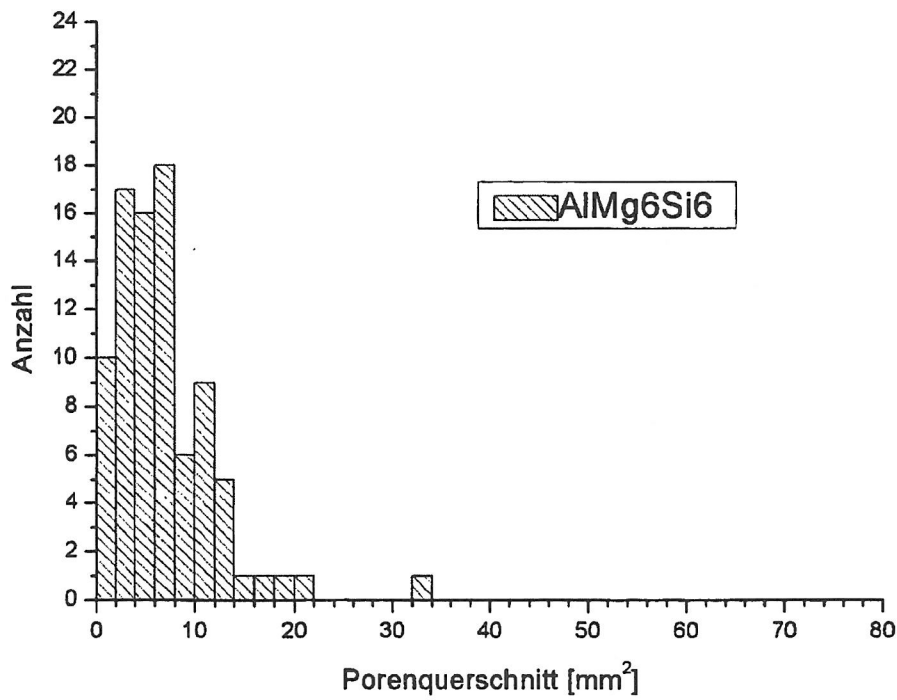


Fig. 2

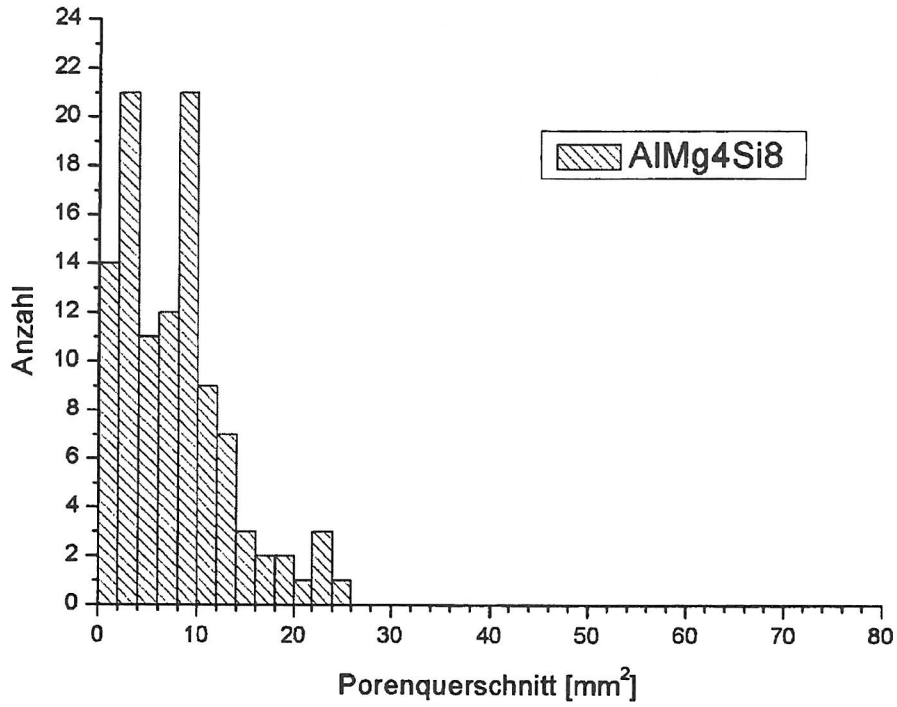


Fig. 3

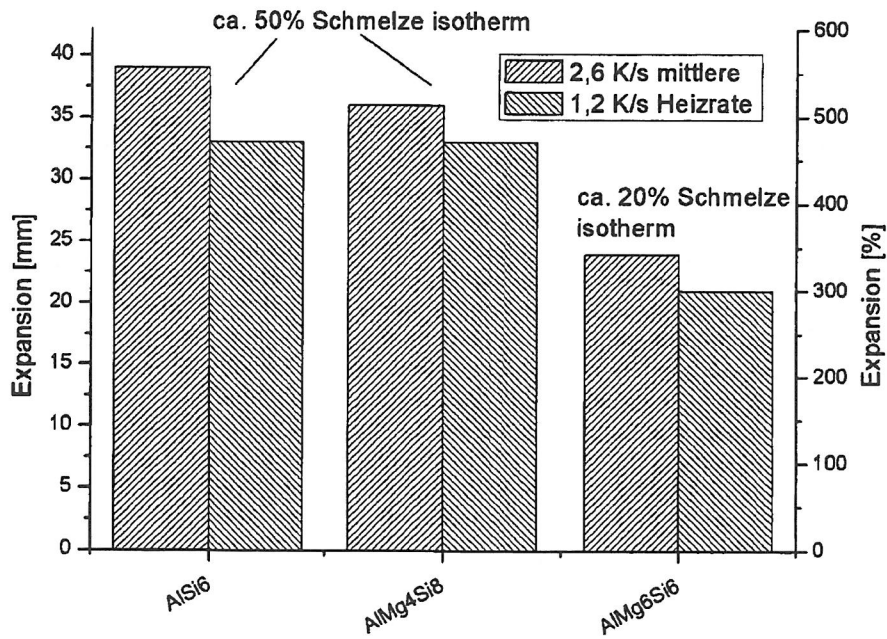


Fig. 4

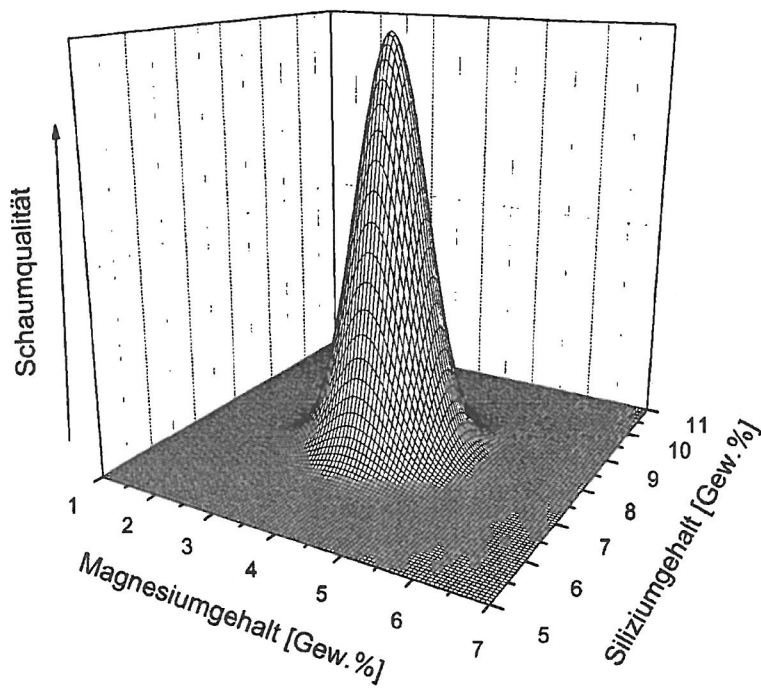


Fig. 5