



(10) **DE 10 2009 020 004 A1** 2010.11.11

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 020 004.5**

(22) Anmeldetag: **05.05.2009**

(43) Offenlegungstag: **11.11.2010**

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

(71) Anmelder:
**Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und
Energie GmbH, 14109 Berlin, DE**

(72) Erfinder:
**Mukherjee, Manas, Dr., 10589 Berlin, DE; Jimenez,
Catalina, 10589 Berlin, DE; Garcia-Moreno,
Francisco, Dr., 14482 Potsdam, DE; Banhart, John,
Prof. Dr., 14532 Kleinmachnow, DE**

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

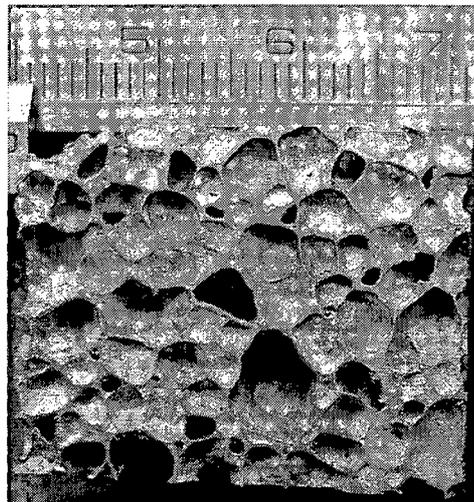
DE	101 15 230	A1
AT	4 13 344	B
CH	5 15 762	A
EP	09 97 215	A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Pulvermetallurgisches Verfahren zur Herstellung von Metallschaum**

(57) Zusammenfassung: Das erfindungsgemäße und nur mit legierungseigenen Bestandteilen realisierbare pulvermetallurgische Verfahren zur Herstellung von Metallschaum weist mindestens die Verfahrensschritte Mischen eines Pulvers aus mindestens dem dem Metallschaum zugrundeliegenden Metall bzw. der dem Metallschaum zugrundeliegenden Metalle mit $\text{Al}(1-x)\text{Mg}(x)$ mit 10 Masse-% $\leq x \leq 100$ Masse-% als Gasbildner in Form von Metallpulver in einer Konzentration von 4 bis 50 Masse-%; anschließendes Verdichten der Metallpulvermischung, danach Erhitzen des Presslings bei Atmosphärendruck auf eine Temperatur oberhalb des Schmelzpunktes der Metallmatrix zur Erzeugung eines flüssigen Metallschaumes und abschließendes Kühlen des entstandenen mikrozellularen Metallschaumes bei einer Temperatur unterhalb der Solidustemperatur der Metallmatrix auf.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein pulvermetallurgisches Verfahren zur Herstellung von Metallschaum.

[0002] Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen mit Treibmittel bzw. gasabspaltendem Mittel (z. B. US 3,087,807 – $ZrH_{1,01}$ als gasabspaltendes Mittel; US 2,935,396 – $CdCO_3$ oder $MgCO_3$ als gasabspaltendes Mittel; US 2,983,597 – TiH_2 oder ZrH_2 als Treibmittel) sind seit langem bekannt.

[0003] Auch pulvermetallurgische Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen werden seit Jahren weiterentwickelt und die hergestellten Metallschäume auf ihre Eigenschaften untersucht.

[0004] Ganz allgemein umfasst ein solches pulvermetallurgisches Verfahren die folgenden Verfahrensschritte: Mischen mindestens eines Metallpulvers und eines Treibmittelpulvers, danach Kompaktieren zu einem dichten, aufschäumbaren Halbzeug. Wird dieses Halbzeug über den Schmelzpunkt hinaus erwärmt, expandiert es und das Metall wird in einen semi-flüssigen, viskosen Zustand überführt, wobei gleichzeitig Gas aus dem sich zersetzenden Treibmittel frei wird und das Aufschäumen des Halbzeugs erfolgt.

[0005] In DE 101 15 230 A1 wird ein pulvermetallurgisches Verfahren beschrieben, bei dem als treibmittelhaltiges Pulver eine Metallverbindung ausgewählt wird, deren Metallkomponente ausschließlich aus einem oder mehreren Metallen des zu schäumenden pulverförmigen metallischen Materials besteht, um mit der Metallkomponente die Legierungszusammensetzung in geringem Umfang zu ändern und keine metallischen Verunreinigungen zu verursachen. Als Treibmittel sind bevorzugt Salze angegeben, die aus Acetaten, Hydraten, Hydroxiden, Hydriden und Carbonaten bzw. Mischsalze hieraus ausgewählt werden und die besonders effiziente Gasbildner sind, die bei ihrer Zersetzung bevorzugt Wasserstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Wasser und/oder Methan bilden.

[0006] In den letzten Jahren sind auch pulvermetallurgische Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen ohne Verwendung eines Treibmittels entwickelt worden. So ist beispielsweise in DE 10 2005 037 305 A1 ein Verfahren beschrieben, bei dem das Metallpulver zunächst unter mechanischem Druck und einer Temperatur von bis zu $400^{\circ}C$ zu einem formstabilen Halbzeug gepresst wurde, dieses anschließend in einer druckdicht verschlossenen Kammer bei einem gewählten Anfangsdruck von bis zu 5 MPa auf die Schmelz- bzw. die Solidustemperatur des Metallpulvers aufgeheizt wird. Nach Erreichen dieser Temperatur wird der Druck definiert reduziert, das Halbzeug schäumt sich auf, der entstandene Metall-

schaum erstarrt während der abschließenden Absenkung der Temperatur. Dieses Verfahren ist durch die Notwendigkeit druckdichter Behälter relativ aufwändig.

[0007] Deshalb ist es Aufgabe der Erfindung, ein weiteres pulvermetallurgisches Verfahren zur Herstellung von Metallschaum anzugeben, das im Vergleich zum Stand der Technik weniger aufwändig und kostengünstiger und nur mit legierungseigenen Bestandteilen realisierbar ist.

[0008] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0009] Dabei wird das überraschenderweise bei Versuchen zur Änderung einer Al- bzw. Zn-Legierung durch Zugabe von $Al(1-x)Mg(x)$ -Pulver gefundene Ergebnis ausgenutzt, dass das $Al(1-x)Mg(x)$ -Pulver und sogar auch reines Mg-Pulver so viel Wasserstoff enthält, dass es eine für den Aufschäumprozess ausreichende Menge Wasserstoff bei der Temperaturerhöhung abgibt. Damit wirkt dieses $Al(1-x)Mg(x)$ -Pulver sowohl als Legierungsbestandteil – bei dem erfindungsgemäßen Verfahren in einem wesentlich größeren Umfang als dem Stand der Technik nach bereits erwähnt – als auch als Gasbildner. Die Zuführung eines speziellen Treibmittels, das notwendigerweise auch legierungsfremde Bestandteile enthält, ist damit nicht mehr notwendig.

[0010] Erfindungsgemäß umfasst das pulvermetallurgische Verfahren zur Herstellung von Metallschaum mindestens die Verfahrensschritte: Mischen eines Metallpulvers aus mindestens dem dem Metallschaum zugrundeliegenden Metall bzw. der dem Metallschaum zugrunde liegenden Metalle mit $Al(1-x)Mg(x)$ mit 10 Massen% $\leq x \leq 100$ Massen% als Gasbildner in Form von Metallpulver in einer Konzentration von 4 bis 50 Massen%; anschließendes Verdichten der Metallpulvermischung; danach Erhitzen des Presslings bei Atmosphärendruck auf eine Temperatur oberhalb des Schmelzpunktes der Metallmatrix zur Erzeugung eines flüssigen Metallschaumes und abschließendes Kühlen des entstandenen Metallschaumes bei einer Temperatur unterhalb der Solidustemperatur der Metallmatrix.

[0011] Ist $x < 100$ Massen% wird vorlegiertes Al-Mg-Metallpulver verwendet.

[0012] Das Verdichten der Metallpulvermischung erfolgt beispielsweise mittels uniaxialer Kompaktierung oder mittels Strangpressen.

[0013] In Ausführungsformen der Erfindung ist vorgesehen, dass für die Herstellung von Al-basiertem bzw. von Zn-basiertem Metallschaum Al-Pulver bzw. Zn-Pulver in einer Konzentration von 50 bis 96 Massen% mit $Al(1-x)Mg(x)$ als Rest vermischt wird.

[0014] Zur Verringerung der Schmelztemperatur einer Al-basierten Legierung kann wahlweise anstelle des Al-Pulvers bis zu 40 Massen% Cu-Pulver oder bis zu 15 Massen% Si-Pulver oder bis zu 40 Massen% Zn-Pulver verwendet werden.

[0015] Auch geringe Zugaben von bis zu 5 Massen% Sn- oder Sb- oder Mn- oder Ni-Pulver zur Metallpulvermischung anstelle des Al-Pulvers bewirken eine Verringerung der Schmelztemperatur.

[0016] Die Verringerung der Schmelztemperatur einer Zn-basierten Legierung wird z. B. durch die Verwendung von bis zu 6 Massen% Al-Pulver anstelle des Zn-Pulvers realisiert.

[0017] Weitere Ausführungsformen betreffen die Kompaktierung der Pulvermischung, die bei einer Temperatur im Bereich von $200^{\circ}\text{C} \leq T \leq 450^{\circ}\text{C}$ und bei einem Druck im Bereich von $200 \text{ MPa} \leq p \leq 500 \text{ MPa}$ durchgeführt wird, und die Temperatur für den Aufschäumprozess, die in Abhängigkeit der verwendeten Metallpulver, nämlich für einen Al-basierten Metallschaum zwischen 450 und 650°C und für einen Zn-basierten Metallschaum zwischen 350 und 550°C eingestellt wird.

[0018] Die Erfindung betrifft auch die Verwendung der $\text{Al}(1-x)\text{Mg}(x)$ -Legierung mit $10 \text{ Massen}\% \leq x \leq 100 \text{ Massen}\%$ sowohl als Gasbildner als auch als Legierungsbestandteil bei der Herstellung von Metallschäumen.

[0019] Der bisher beim Schaumbildungsprozess unerwünschte Wasserstoff, der durch die Zugabe von vorlegiertem $\text{Al}(1-x)\text{Mg}(x)$ -Pulver zur Veränderung der Legierung während der Temperaturerhöhung entstand, wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren ganz bewusst als Gasbildner ausgenutzt, so dass kein weiteres Treibmittel zugegeben werden muss. Damit kommen bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen keine legierungsfremden Bestandteile zum Einsatz.

[0020] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren konnten Metallschäume mit einer homogenen und stabilen Schaumstruktur, die kleine Poren mit einem durchschnittlichen Durchmesser zwischen $0,05$ und 2 mm aufweist, hergestellt werden. Die Poren sind außerdem nicht miteinander verbunden, was mit den bisher dem Stand der Technik nach bekannten pulvermetallurgischen Verfahren noch nicht erreicht werden konnte. Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht – wie schon erwähnt – darin, dass mit der Beimischung von $\text{Al}(1-x)\text{Mg}(x)$ -Pulver mit $10 \text{ Massen}\% \leq x \leq 100 \text{ Massen}\%$ der Schmelzpunkt der Al- bzw. Zn-basierten Legierung abgesenkt wurde.

[0021] Die Erfindung wird nun in Ausführungsbeispielen anhand von Figuren näher erläutert.

[0022] Dabei zeigen

[0023] Fig. 1: Aufnahme eines Al-basierten Metallschaums gemäß Stand der Technik-Verfahren hergestellt;

[0024] Fig. 2: Aufnahme eines Al-basierten Metallschaums gemäß erfindungsgemäßem Verfahren hergestellt;

[0025] Fig. 3: Mikroskopaufnahme eines Zn-basierten Metallschaums hergestellt mit erfindungsgemäßem Verfahren;

[0026] Fig. 4: Mikroskopaufnahme eines Al-basierten Metallschaums hergestellt mit erfindungsgemäßem Verfahren;

[0027] Fig. 5: Spannungs-Druckverhalten des Al-basierten Metallschaums gemäß Fig. 2 und Fig. 4;

[0028] Fig. 6: Projektionsflächenausdehnung eines Zn-basierten Metallschaumes und Temperatur des Aufschäumprozesses in Abhängigkeit der Zeit.

[0029] Fig. 1 und Fig. 2 zeigen zur Gegenüberstellung jeweils eine Aufnahme eines Al-basierten Metallschaumes hergestellt gemäß einem bekannten pulvermetallurgischen Verfahren mit Treibmittel (Fig. 1) und ohne Treibmittel (Fig. 2), d. h. gemäß erfindungsgemäßem Verfahren hergestellt. Gut erkennbar sind die deutlich größeren Poren in dem mit Treibmittel hergestellten Metallschaum.

[0030] Für den mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Zn-basierten Metallschaum, dessen Schaumstruktur in der Mikroskopaufnahme in Fig. 3 gezeigt ist, wird zur Herstellung eines Metallschaums eine Pulvermischung aus $94 \text{ Massen}\%$ Zn-Pulver und $6 \text{ Massen}\%$ AlMg50 -Pulver hergestellt, die bei 300°C und 300 MPa kompaktiert wird. Der Aufschäumprozess läuft dann bei 400°C ab. Der durchschnittliche Durchmesser der Poren beträgt $500 \mu\text{m}$, die Probendichte $1,1 \text{ gcm}^{-3}$.

[0031] Fig. 4 zeigt eine Mikroskopaufnahme der Schaumstruktur eines mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Al-basierten Metallschaums, nunmehr in einer höheren Vergrößerung als in Fig. 1. Dieser Metallschaum wird wie folgt hergestellt: Für die Herstellung der Pulvermischung wird $60 \text{ Massen}\%$ Al-Pulver und $30 \text{ Massen}\%$ AlMg50 -Pulver sowie $10 \text{ Massen}\%$ Cu-Pulver verwendet. Das Cu-Pulver wurde hinzugefügt, um den Schmelzpunkt der Legierung zu verringern. Die Kompaktierung erfolgt bei 400°C und einem Druck von 300 MPa . Für das Aufschäumen der kompaktierten Probe wird eine Temperatur von 600°C eingestellt. Der so hergestellte Al-basierte Metallschaum weist eine Dichte von $0,6$

gcm^{-3} auf und Poren mit einem durchschnittlichen Durchmesser von $800\ \mu\text{m}$.

[0032] In [Fig. 5](#) ist die Kurve für das Spannungs-Stauchungs-Verhalten eines Metallschaums mit der Zusammensetzung AlMg15Cu10 dargestellt, der eine Dichte von $0,72\ \text{gcm}^{-3}$ und einen durchschnittlichen Durchmesser der Poren von $1\ \text{mm}$ aufweist. Untersuchungen des mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Metallschaums haben gezeigt, dass seine Druckfestigkeit und Steifigkeit mindestens so gut sind wie bei anderen Standard-Schäumen.

[0033] Die Projektionsflächenausdehnung (Ausdehnung der Fläche des Metallschaums in der Draufsicht) eines Zn-basierten Metallschaumes der Zusammensetzung ZnAl5Mg5 und die Temperatur des Aufschäumprozesses sind in Abhängigkeit der Zeit in [Fig. 6](#) dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Fläche auf ca. das Vierfache ihrer Ausgangsgröße im Aufschäumprozess anwächst. Das bedeutet, dass eine ausreichende Schaumexpansion erfolgt und der Schaum im expandierten, flüssigen Zustand sehr stabil bleibt ohne nach einer bestimmten Zeit zu kollabieren, wie es üblich ist bei Schäumen, die nach dem Stand der Technik bekannten Verfahren mit Treibmittel hergestellt worden sind.

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 3087807 [0002]
- US 2935396 [0002]
- US 2983597 [0002]
- DE 10115230 A1 [0005]
- DE 102005037305 A1 [0006]

Patentansprüche

1. Pulvermetallurgisches Verfahren zur Herstellung von Metallschaum, mindestens aufweisend die Verfahrensschritte

- Mischen eines Metallpulvers aus mindestens dem dem Metallschaum zugrundeliegenden Metall bzw. der dem Metallschaum zugrunde liegenden Metalle mit $\text{Al}(1-x)\text{Mg}(x)$ mit $10 \text{ Massen\%} \leq x \leq 100 \text{ Massen\%}$ als Gasbildner in Form von Metallpulver in einer Konzentration von 4 bis 50 Massen%;
- anschließendes Verdichten der Metallpulvermischung,
- danach Erhitzen des Presslings bei Atmosphärendruck auf eine Temperatur oberhalb des Schmelzpunktes der Metallmatrix zur Erzeugung eines flüssigen Metallschaumes,
- abschließend Kühlen des entstandenen mikrozellularen Metallschaumes bei einer Temperatur unterhalb der Solidustemperatur der Metallmatrix.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass $\text{Al}(1-x)\text{Mg}(x)$ mit $40 \text{ Massen\%} \leq x \leq 60 \text{ Massen\%}$, bevorzugt $\text{AlMg}50$, verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für $x < 100 \text{ Massen\%}$ vorlegiertes Metallpulver verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die dem Metallschaum zugrunde liegenden Metalle Al oder Zn oder Mischungen hiervon sind.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass für die Herstellung von Al-basiertem Metallschaum Al-Pulver in einer Konzentration von 50 bis 96 Massen% mit $\text{Al}(1-x)\text{Mg}(x)$ als Rest vermischt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass wahlweise anstelle des dem Metallschaum zugrundeliegenden Al-Pulvers bis zu 40 Massen% Cu-Pulver verwendet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass wahlweise anstelle des dem Metallschaum zugrundeliegenden Al-Pulvers bis zu 15 Massen% Si-Pulver verwendet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass wahlweise anstelle des dem Metallschaum zugrundeliegenden Al-Pulvers bis zu 40 Massen% Zn-Pulver verwendet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass wahlweise anstelle des dem Metallschaum zugrundeliegenden Al-Pulvers bis zu 5 Massen% Sn- oder Sb- oder Mn- oder Ni-Pulver verwendet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass für die Herstellung von Zn-basiertem Metallschaum Zn-Pulver in einer Konzentration von 50 bis 96 Massen mit $\text{Al}(1-x)\text{Mg}(x)$ als Rest vermischt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 4 und 10, dadurch gekennzeichnet, dass wahlweise anstelle des dem Metallschaum zugrundeliegenden Zn-Pulvers bis zu 6 Massen% Al-Pulver verwendet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompaktierung der Pulvermischung bei einer Temperatur im Bereich von $200^\circ\text{C} \leq T \leq 450^\circ\text{C}$ und bei einem Druck im Bereich von $200 \text{ MPa} \leq p \leq 500 \text{ MPa}$ durchgeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 1 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufschäumen des Presslings für einen Al-basierten Metallschaum bei einer Temperatur von $450^\circ\text{C} \leq T \leq 650^\circ\text{C}$ durchgeführt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufschäumen des Presslings für einen Zn-basierten Metallschaum bei einer Temperatur von $350^\circ\text{C} \leq T \leq 550^\circ\text{C}$ durchgeführt wird.

15. Verwendung der $\text{Al}(1-x)\text{Mg}(x)$ -Legierung mit $10 \text{ Massen\%} \leq x \leq 100 \text{ Massen\%}$ als Gasbildner bei der Herstellung von Metallschäumen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

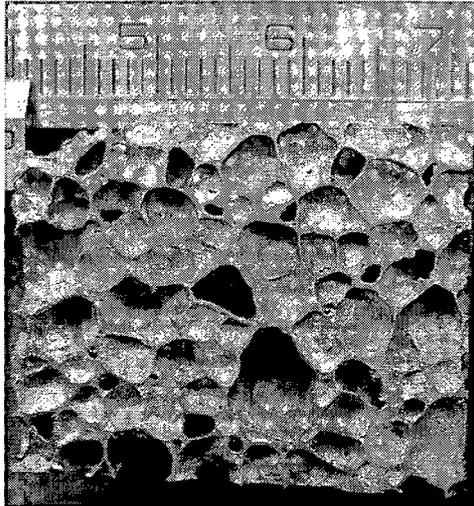


Fig. 1 Stand der Technik

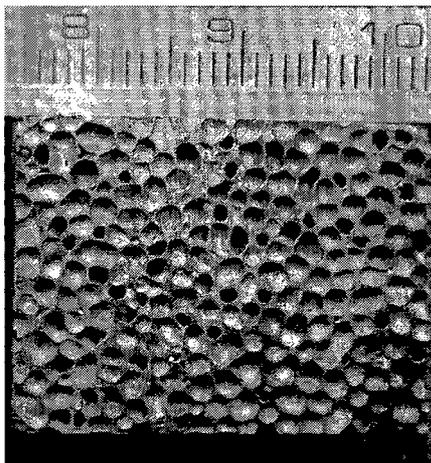


Fig. 2

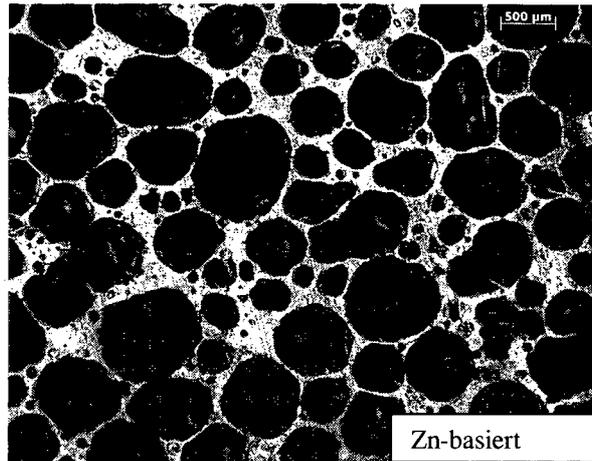


Fig. 3

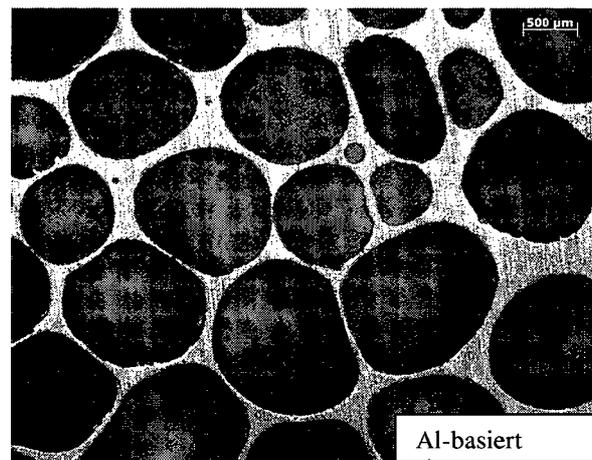


Fig. 4

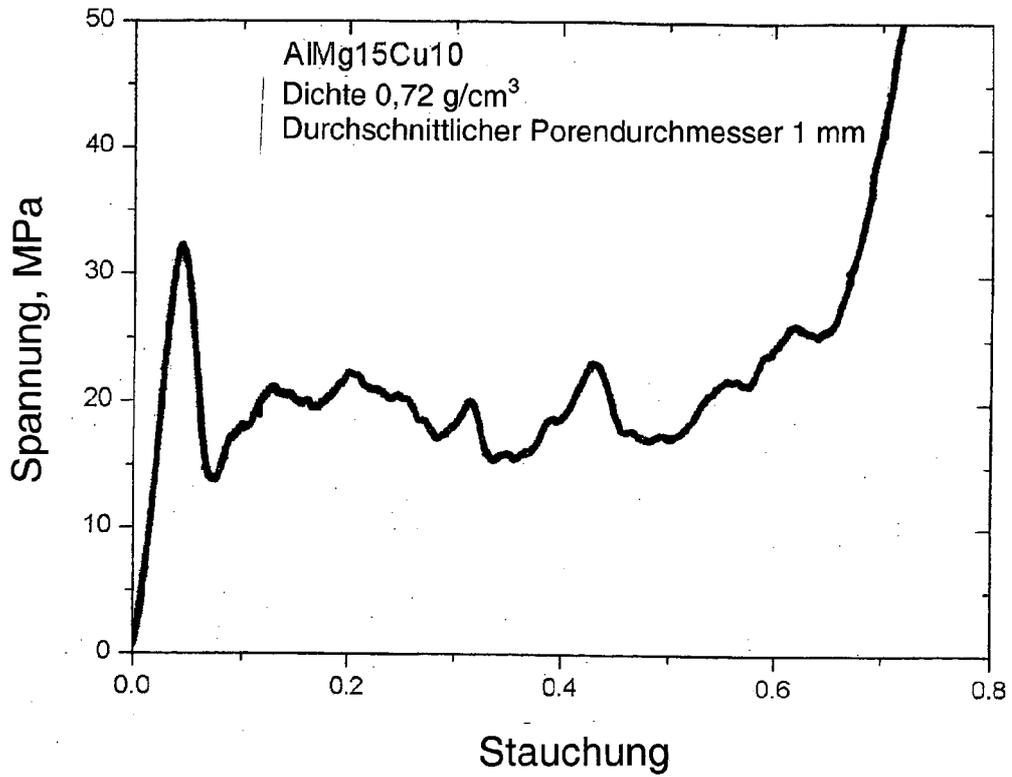


Fig. 5

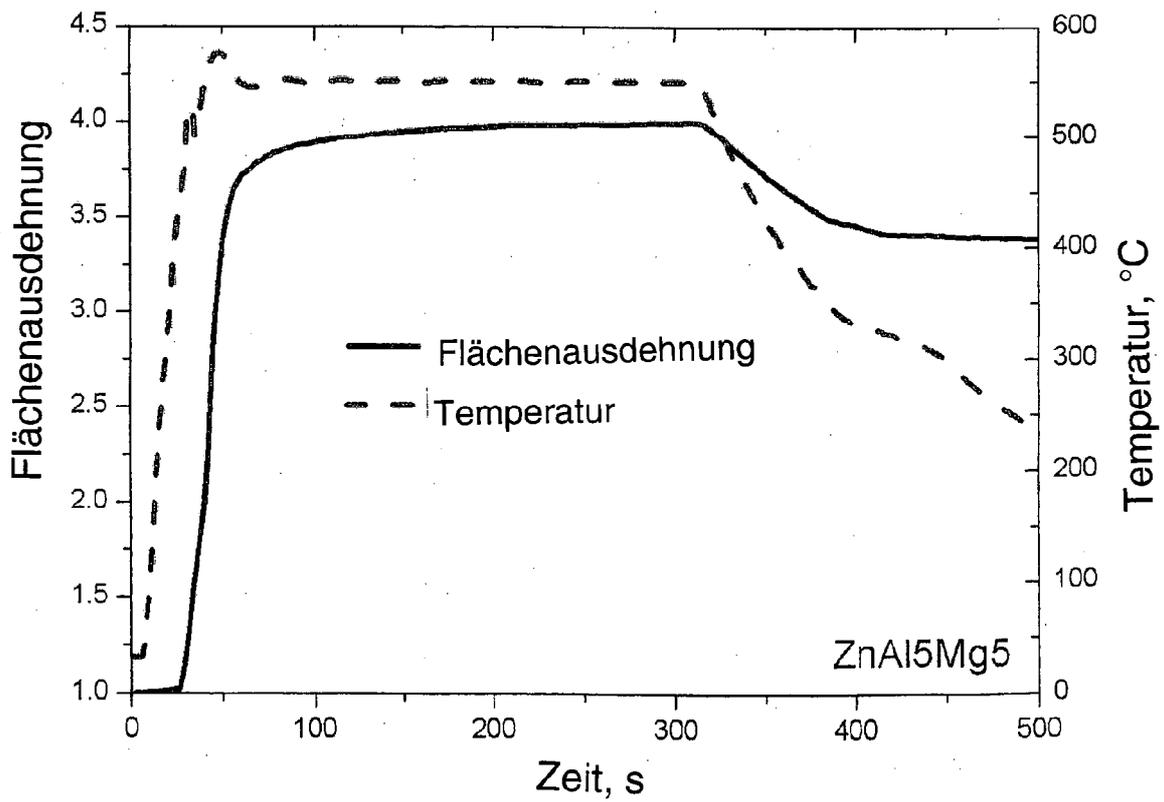


Fig. 6