

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 1 017 864 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**07.11.2001 Patentblatt 2001/45**

(21) Anmeldenummer: **98946304.7**

(22) Anmeldetag: **08.08.1998**

(51) Int Cl.7: **C22C 1/08**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP98/05036**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 99/11832 (11.03.1999 Gazette 1999/10)**

(54) **LEGIERUNG ZUM HERSTELLEN VON METALLSCHAUMKÖRPERN UNTER VERWENDUNG EINES PULVERS MIT KEIMBILDENDEN ZUSÄTZEN**

ALLOY FOR PRODUCING METAL FOAMED BODIES USING A POWDER WITH NUCLEATING ADDITIVES

ALLIAGE DESTINE A LA PRODUCTION DE CORPS METALLIQUES EN MOUSSE A L'AIDE D'UNE POUDRE AYANT DES ADJUVANTS FORMANT DES GERMES

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT DE ES FR GB IT SE**

(30) Priorität: **30.08.1997 DE 19737957**  
**13.03.1998 DE 19810979**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**12.07.2000 Patentblatt 2000/28**

(73) Patentinhaber: **Honsel GmbH & Co. KG**  
**59872 Meschede (DE)**

(72) Erfinder: **BRUNGS, Dieter**  
**D-59872 Meschede (DE)**

(74) Vertreter: **Rehders, Jochen et al**  
**Velten Franz Mayer & Jakoby,**  
**Kaistrasse 20**  
**40221 Düsseldorf (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A-91/01387**                      **WO-A-92/03582**  
**DE-A- 2 362 293**                      **DE-A- 19 651 197**  
**DE-C- 4 018 360**                      **US-A- 3 087 807**

**EP 1 017 864 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Legierung zum Herstellen von Metallschaumkörpern, ein Verfahren zum Herstellen der Legierung mit bestimmten Zusatzstoffen für die Herstellung von Metallschaumkörpern.

**[0002]** Verschiedene Verfahren zum Herstellen von Metallschaumkörpern sind bekannt und bestehen im wesentlichen darin, daß einem Legierungspulver oder einer Pulvermischung aus Legierungsbestandteilen ein gasabspaltendes Treibmittel beigefügt wird, wobei zunächst ein unaufgeschäumtes Halbzeug hergestellt und dieses Halbzeug anschließend durch Aufheizen auf eine Temperatur oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels, vorzugsweise im Temperaturbereich des Schmelzpunktes der Metallegierung, zum Aufschäumen gebracht wird, wonach der so aufgeschäumte Körper anschließend abgekühlt wird. Das Aufschäumen des Halbzeuges kann frei oder in einer Form erfolgen, und es lassen sich bei Verwendung von Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen Metallschaumkörper mit einer Dichte von etwa 0,3 bis 1,7 g/cm<sup>3</sup> herstellen.

**[0003]** Ein Verfahren zum Herstellen poröser Metallkörper ist beispielsweise in der DE-40 18 360 C1 beschrieben und besteht aus den Schritten: Herstellen einer Mischung aus mindestens einem Metallpulver und mindestens einem gasabspaltendem Treibmittelpulver, Heißkompaktieren dieser Mischung zu einem Halbzeug bei einer Temperatur, bei der die Verbindung der Metallpulverteilchen überwiegend durch Diffusion erfolgt und bei einem Druck, der hoch genug ist, um die Zersetzung des Treibmittels zu verhindern, derart, daß die Metallteilchen sich in einer festen Verbindung untereinander befinden und einen gasdichten Abschluß für die Gasteilchen des Treibmittels darstellen, Aufheizen des derart hergestellten Halbzeuges auf eine Temperatur oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels, vorzugsweise im Temperaturbereich des Schmelzpunktes des verwendeten Metalles, anschließendes Abkühlen des so aufgeschäumten Körpers.

**[0004]** Bei Verwendung von Reinaluminiumpulver mit einem Zusatz von 0,1 Gew.-% Titanhydridpulver ließ sich ein poröser Metallkörper mit einer Dichte von etwa 0,78 g/cm<sup>3</sup> herstellen. Die typische Porengröße lag um 1 mm Durchmesser. Bei Verwendung eines fertig legierten Pulvers aus einer Aluminiumlegierung mit einem Legierungsanteil von 4 Gew.-% Magnesium und 0,4 Gew.-% Titanhydridpulver wurde eine Dichte von 0,62 g/cm<sup>3</sup> bei einer typischen Porengröße von ca. 2 bis 3 mm erreicht.

**[0005]** Bei diesem bekannten Verfahren und anderen Verfahren, beispielsweise dem entsprechend der US-3 087 807 A, ist nachteilig, daß die Blasenbildung beim Aufschäumen und damit die Struktur des Metallschaumkörpers sehr ungleichmäßig ist. Dies hat unerwünschte Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften, so daß bereits versucht wurde, eine gleichmäßige Schaumstruktur durch Veränderung der Legie-

rungszusammensetzung oder der Verfahrensführung zu erreichen. Diese Versuche führten entweder nicht zu der gewünschten gleichmäßigen Schaumstruktur oder erforderten eine aufwendige Prozeßführung, die das Herstellungsverfahren verteuerte.

**[0006]** Bei Verwendung eines fertig legierten Pulvers aus einer Aluminiumlegierung vom Typ AlSi12 bzw. AlSi7Mg mit Titan-Hydrid-Pulverzusatz wurde ein ungünstigeres Aufschäumverhalten festgestellt, als bei Verwendung eines Pulvers bzw. einer Pulvermischung der Metallmatrix Al bzw. AlMg mit Zusatz von 12 % Siliciumpulver bzw. 7 % Siliciumpulver. Auch bei anderen Matrixlegierungen vom Typ AlMgSi wurde bestätigt, daß zusätzlich beigemischte Siliciumpulver zu einem verbesserten Aufschäumverhalten führen. Nachteilig war jedoch immer noch eine ungleichmäßige Schaumstruktur mit stark unterschiedlichen Porengrößen.

**[0007]** Die ungleichmäßige Schaumstruktur kann auf eine ungleichmäßige Keimbildung für die Blasenbildung infolge ungleichmäßiger Größe und Verteilung der Siliciumpartikel zurückgeführt werden. Das Gefüge eines Strangpreßprofils, welches aus einer AlMgSi Pulvermischung mit 10 % Siliciumpulver hergestellt wurde, zeigt Bild 1. Die in das Matrixgefüge eingelagerten Siliciumpartikel sind ungleichmäßig verteilt und in ihrer Größe und Form ebenfalls stark ungleichmäßig.

**[0008]** Der Erfindung liegt daher das Problem zugrunde, bei der Fertigung einer aufschäumbaren Metallegierung, insbesondere einer Aluminiumlegierung, für das Erreichen der gewünschten Eigenschaften eine möglichst gleichmäßige Schaumstruktur zu erzielen und möglichst günstige Festigkeitseigenschaften zu erreichen.

**[0009]** Ausgehend von dieser Problemstellung wird eine Pulvermischung zur Herstellung von Aluminium-Metallschaumkörpern vorgeschlagen, die erfindungsgemäß aus einem Pulver aus einer Aluminiumlegierung, einem Pulver aus bzw. mit keimbildenden, eine gleichmäßige Blasenbildung und homogene Schaumstruktur bewirkenden Partikeln mit einer Partikelgröße kleiner als 30 µm und einem gasabspaltenden Treibmittelpulver besteht, wobei vorzugsweise zur Keimbildung ein Zusatz von gleichmäßig verteilten Silicium-, Siliciumcarbid-, Aluminiumoxid- und/oder Titanboridpartikeln beigefügt ist.

**[0010]** Besonders vorteilhaft sind kleine, gleichmäßig verteilte Siliciumpartikel, die beim Versprühen von überreutektischen AlSi-Schmelzen mit bis zu etwa 50 % Silicium in den einzelnen Pulverkörnern entstehen (Bild 2). Das Herstellverfahren ist in der Patentanmeldung 198 01 941.6 derselben Anmelderin eine verschleißfeste Aluminiumlegierung insbesondere für die Herstellung von Zylinderlaufbuchsen betreffend beschrieben.

**[0011]** Das Gefüge eines Strangpreßprofils, welches aus einer AlMgSi-Pulvermischung mit 10 % Siliciumzusatz in Form der oben beschriebenen Pulverkörner hergestellt wurde, zeigt Bild 3. Die Siliciumpartikel haben eine gleichmäßige Größe zwischen etwa 10 - 30 µm und

sind in der Matrix gleichmäßig verteilt.

**[0012]** Zur Lösung des eingangs erwähnten Problems wird des weiteren ein Verfahren zum Herstellen von Metallschaumkörpern aus der vorstehend erwähnten Pulvermischung mit den Schritten: Herstellen einer homogenen Mischung aus mindestens einem eine Metallmatrix bildenden Metallpulver, einem Pulver aus bzw. mit keimbildenden, eine gleichmäßige Blasenbildung und homogene Schaumstruktur bewirkenden Partikeln und mindestens einem gasabspaltendem Treibmittelpulver, Einfüllen der Mischung in eine Form, ggf. Kompaktieren unter Druck, z. B. durch kalt- oder warm-isostatisches Pressen, anschließendes Warmumformen, z. B. durch Strangpressen oder Walzen, ggf. Weiterarbeiten beispielsweise durch Kaltumformen und/oder spanende Bearbeitung, Aufschäumen durch Aufheizen auf eine Temperatur oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels, vorzugsweise im Temperaturbereich des Schmelzpunktes des verwendeten Metalls und anschließendes Abkühlen des so aufgeschäumten Körpers vorgeschlagen.

**[0013]** Schließlich dient der Lösung des eingangs erwähnten Problems auch die Verwendung eines Pulvers aus bzw. mit keimbildenden, eine gleichmäßige Blasenbildung und homogene Schaumstruktur bewirkenden Partikeln als Zusatz zu einer Mischung aus mindestens einem eine Metallmatrix bildenden Metallpulver und mindestens einem gasabspaltenden Treibmittelpulver bei der Herstellung von Metallschaumkörpern, wobei das Pulver aus Partikeln aus Silicium, Siliciumcarbid, Aluminiumoxid und/oder Titanborid bestehen kann, die eine Partikelgröße kleiner als 30  $\mu\text{m}$  aufweisen. Zum Herstellen eines Schaumkörpers aus einer Matrix aus einer Aluminiumlegierung läßt sich ein Pulver mit gleichmäßig verteilten Partikeln einer übereutektischen Aluminium-Silicium-Legierung mit einem Anteil des Siliciums in Form von Siliciumprimärkristallen in den Partikeln der übereutektischen Aluminium-Silicium-Legierung von weniger als 12 Gew.-%, bezogen auf die Metallegierung.

**[0014]** Die sehr fein verteilte Partikelstruktur in dem als Pulver hinzugefügten Zusatz, insbesondere die sehr fein verteilte Siliciumstruktur ist entscheidend für eine gleichmäßige Blasenbildung und damit für eine homogene Schaumstruktur, da die Partikel in dieser feinen Verteilung, insbesondere die Siliciumprimärkristalle als Keimbildner für die Blasenentwicklung wirken.

**[0015]** Bei der aufschäumbaren Aluminiumlegierung kann es sich beispielsweise um eine Aluminiumpulverlegierung mit einem Treibmittel, beispielsweise Titanhydrid ( $\text{Tih}_2$ ) und einem Pulver einer übereutektischen Aluminium-Silicium-Legierung mit einem Anteil des Siliciums in Form von Siliciumprimärkristallen in dem Pulver der übereutektischen Aluminium-Silicium-Legierung von weniger als 12 Gew.-% bezogen auf die Metallegierung handeln. Die Mischung wird in eine Form gefüllt und unter Druck kompaktiert, ohne daß sich dabei das Treibmittelpulver zersetzt. Das so hergestellte Vormaterial

läßt sich anschließend warmpressen oder warmwalzen oder warmfließpressen, ohne daß dabei ein Aufschäumen erfolgt. Wird dieses Halbzeug zum Aufschäumen auf bis zu etwa 800°C erhitzt, setzt das Treibmittel eingeschlossenes Gas frei, so daß das Aluminiumlegierungspulver aufschäumt. Wird das Aufschäumen des Halbzeugs in einer Form durchgeführt, füllt der Schaum die Kontur des Formhohlraums aus, nimmt dessen Form an und weist, je nach Aufschäumungsgrad und Art des Treibmittelzusatzes eine Dichte von etwa 0,3 bis 1,7  $\text{g/cm}^3$  auf. Die aufgeschäumte Aluminiumlegierung weist im wesentlichen gleich große und gleichmäßig verteilte, geschlossene Poren auf, ist sehr druckfest, hat ein geringes Gewicht und erteilt dem geformten Gegenstand eine entsprechend dem jeweiligen Anwendungsfall erforderliche Festigkeit.

**[0016]** Die Herstellung von Schaumprodukten aus einer Aluminiumlegierung ist nur beispielsweise erwähnt. Die Erfindung erstreckt sich auch auf Schaumprodukte aus jedem schäumbaren Metall, dem ein Pulver mit keimbildenden Partikeln für eine gleichmäßige Blasenbildung und eine homogene Schaumstruktur zugesetzt ist.

#### Patentansprüche

1. Pulvermischung zur Herstellung von Aluminium-Metallschaumkörpern, bestehend aus
  - einem Pulver aus einer Aluminiumlegierung,
  - einem Pulver aus bzw. mit keimbildenden, eine gleichmäßige Blasenbildung und homogene Schaumstruktur bewirkenden Partikeln mit einer Partikelgröße kleiner als 30  $\mu\text{m}$  und
  - einem gasabspaltenden Treibmittelpulver.
2. Pulvermischung nach Anspruch 1 mit einem Pulver aus einer Aluminiumlegierung zur Bildung einer Aluminiummatrix mit einem Zusatz von gleichmäßig verteilten Silicium-, Siliciumcarbid, Aluminiumoxid-, und/oder Titanboridpartikeln.
3. Pulvermischung nach Anspruch 1 oder 2 mit einem Zusatz von gleichmäßig verteilten Siliciumpartikeln oder von Partikeln einer übereutektischen Aluminium-Silicium-Legierung mit einem Anteil des Siliciums in Form von Siliciumpartikeln oder von Siliciumprimärkristallen in den Partikeln der übereutektischen Aluminium-Silicium-Legierung von weniger als 20 Gew.-% bezogen auf die Gesamtmenge vor dem Aufschäumen.
4. Verfahren zum Herstellen von Metallschaumkörpern aus einer Pulvermischung gemäß Anspruch 1 mit den Schritten
  - Herstellen einer homogenen Mischung aus

- mindestens einem eine Metallmatrix bildenden Metallpulver, einem Pulver aus bzw. mit keimbildenden, eine gleichmäßige Blasenbildung und homogene Schaumstruktur bewirkenden Partikeln und mindestens einem gasabspaltendem Treibmittelpulver
- Einfüllen der Mischung in eine Form,
  - Aufschäumen durch Aufheizen auf eine Temperatur oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels und
  - Abkühlen des so aufgeschäumten Körpers.
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem in der Form ein Kompaktieren unter Druck erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Kompaktieren unter Druck durch kalt- oder warm-isostatisches Pressen erfolgt.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, bei dem nach dem Kompaktieren ein Warmumformen, insbesondere durch Strangpressen oder Walzen erfolgt.
8. Verfahren nach Anspruch 5, 6 oder 7, bei dem nach dem Kompaktieren oder dem Warmumformen eine Weiterverarbeitung durch Kaltumformen und/oder spanende Bearbeitung erfolgt.
9. Verwendung eines Pulvers aus bzw. mit keimbildenden, eine gleichmäßige Blasenbildung und homogene Schaumstruktur bewirkenden Partikeln als Zusatz zu einer Mischung aus mindestens einem eine Metallmatrix bildenden Metallpulver und mindestens einem gasabspaltendem Treibmittelpulver nach Anspruch 1 bei der Herstellung von Metallschaumkörpern.
10. Verwendung eines Pulvers nach Anspruch 9 mit Partikeln aus Silicium, Siliciumcarbid, Aluminiumoxid und/oder Titanborid.
11. Verwendung eines Pulvers nach Anspruch 9 oder 10 mit einer Partikelgröße kleiner als 30 µm.
12. Verwendung eines Pulvers zum Herstellen eines Schaumkörpers aus einer Matrix aus einer Aluminiumlegierung nach Anspruch 9, 10 oder 11 mit gleichmäßig verteilten Partikeln einer übereutektischen Aluminium-Silicium-Legierung mit einem Anteil des Siliciums in Form von Siliciumprimärkristallen in den Partikeln der übereutektischen Aluminium-Silicium-Legierung von weniger als 12 Gew.-% bezogen auf die Metallegierung.
- foamed bodies, comprising
- a powder of an aluminium alloy,
  - a powder of or with nucleating particles causing uniform bubble formation and a homogenous foam structure and having a particle size smaller than 30 µm and
  - a gas-releasing foaming agent powder.
2. Powder mixture according to claim 1 with a powder of an aluminium alloy to form an aluminium matrix with an addition of evenly distributed silicon, silicon carbide, aluminium oxide and/or titanium boride particles.
3. Powder mixture according to claim 1 or 2 with an addition of evenly distributed silicon particles or of particles of a hypereutectic aluminium-silicon alloy, the proportion of the silicon in the form of silicon particles or of silicon primary crystals in the particles of the hypereutectic aluminium-silicon alloy being less than 20 wt-% in relation to the total amount before foaming.
4. Method for producing metal foamed bodies from a powder mixture according to claim 1, having the steps:
- producing a homogeneous mixture from at least one metal powder forming a metal matrix, a powder of or with nucleating particles causing uniform bubble formation and a homogeneous foam structure, and at least one gas-releasing foaming agent powder,
  - filling the mixture into a mould,
  - foaming by heating to a temperature above the decomposition temperature of the foaming agent and
  - cooling of the body so foamed.
5. Method according to claim 4, wherein compacting under pressure takes place in the mould.
6. Method according to claim 5, wherein the compacting under pressure takes place by means of cold or hot isostatic pressing.
7. Method according to claim 5 or 6, wherein after the compacting hot-working takes place, especially by means of extrusion or rolling.
8. Method according to claim 5, 6 or 7, wherein after the compacting or the hot-working, further processing takes place through cold-working and/or machining.
9. Use of a powder of or with nucleating particles causing uniform bubble formation and a homogeneous

## Claims

1. Powder mixture for producing aluminium metal

foam structure as an addition to a mixture formed from at least one metal powder forming a metal matrix and at least one gas-releasing foaming agent powder according to claim 1 in the production of metal foamed bodies.

10. Use of a powder according to claim 9 with particles of silicon, silicon carbide, aluminium oxide and/or titanium boride.
11. Use of a powder according to claim 9 or 10 having a particle size smaller than 30  $\mu\text{m}$ .
12. Use of a powder for producing a foamed body from a matrix formed from an aluminium alloy according to claim 9, 10 or 11 with evenly distributed particles of a hypereutectic aluminium-silicon alloy, the proportion of the silicon in the form of silicon primary crystals in the particles of the hypereutectic aluminium-silicon alloy being less than 12 wt-% in relation to the metal alloy.

#### Revendications

1. Mélange pulvérulent destiné à la fabrication de corps en mousse métallique d'aluminium, constitué
- d'une poudre en un alliage d'aluminium,
  - d'une poudre de particules ou contenant des particules qui forment des germes et qui provoquent la formation uniforme de bulles et une structure homogène en mousse, avec une taille des particules inférieure à 30  $\mu\text{m}$ , et
  - d'une poudre moussante qui provoque la séparation des gaz.
2. Mélange pulvérulent selon la revendication 1, contenant une poudre d'un alliage d'aluminium pour former une matrice d'aluminium avec un ajout de particules uniformément réparties de silicium, de carbure de silicium, d'oxyde d'aluminium et/ou de borure de titane.
3. Mélange pulvérulent selon la revendication 1 ou 2 avec un ajout de particules de silicium uniformément réparties ou de particules d'un alliage hypereutectique d'aluminium et de silicium avec une proportion de silicium sous la forme de particules de silicium ou de cristaux primaires de silicium dans les particules de l'alliage hypereutectique d'aluminium et de silicium, inférieure à 20 % en poids de la quantité totale avant l'expansion.
4. Procédé de fabrication de corps en mousse métallique à partir d'un mélange pulvérulent selon la re-

vendication 1, qui comporte les étapes suivantes :

- préparation d'un mélange homogène constitué d'au moins une poudre métallique qui forme une matrice métallique, d'une poudre de particules ou avec des particules qui forment des germes et qui provoquent la formation uniforme de bulles et une structure homogène en mousse, ainsi que d'au moins une poudre moussante qui provoque la séparation des gaz.
- introduction du mélange dans un moule,
- expansion par chauffage à une température supérieure à la température de décomposition de l'agent moussant, et
- refroidissement du corps ainsi expansé.

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel il est procédé dans le moule à un compactage sous pression.
6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel le compactage sous pression s'effectue par pression isostatique à froid ou à chaud.
7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, dans lequel après compactage, il est procédé à une transformation à chaud, notamment par extrudage ou laminage.
8. Procédé selon la revendication 5, 6 ou 7, dans lequel après compactage ou transformation à chaud, il est procédé à un traitement complémentaire par transformation à froid et/ou usinage par enlèvement de copeaux.
9. Utilisation d'une poudre de particules ou contenant des particules qui forment des germes et qui provoquent la formation uniforme de bulles et une structure homogène en mousse, comme additif à un mélange constitué d'au moins une poudre métallique qui forme une matrice métallique et d'au moins une poudre moussante qui provoque la séparation des gaz selon la revendication 1, pour la fabrication de corps en mousse métalliques.
10. Utilisation d'une poudre selon la revendication 9, avec des particules de silicium, de carbure de silicium, d'oxyde d'aluminium et/ou de borure de titane.
11. Utilisation d'une poudre selon la revendication 9 ou 10 avec une taille des particules inférieure à 30  $\mu\text{m}$ .
12. Utilisation d'une poudre pour la fabrication d'un corps en mousse à partir d'une matrice constituée

d'un alliage d'aluminium selon la revendication 9, 10 ou 11 avec des particules uniformément réparties d'un alliage hypereutectique d'aluminium et de silicium contenant une proportion de silicium, inférieure à 12 % en poids de l'alliage métallique, sous la forme de cristaux primaires de silicium dans les particules de l'alliage hypereutectique d'aluminium et de silicium.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Abb. 3

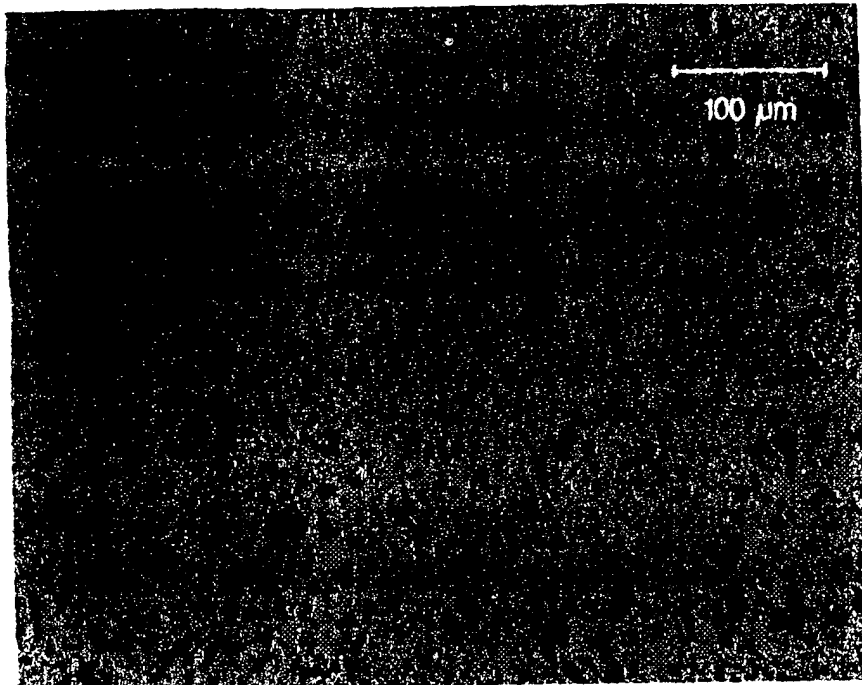


Abb. 1

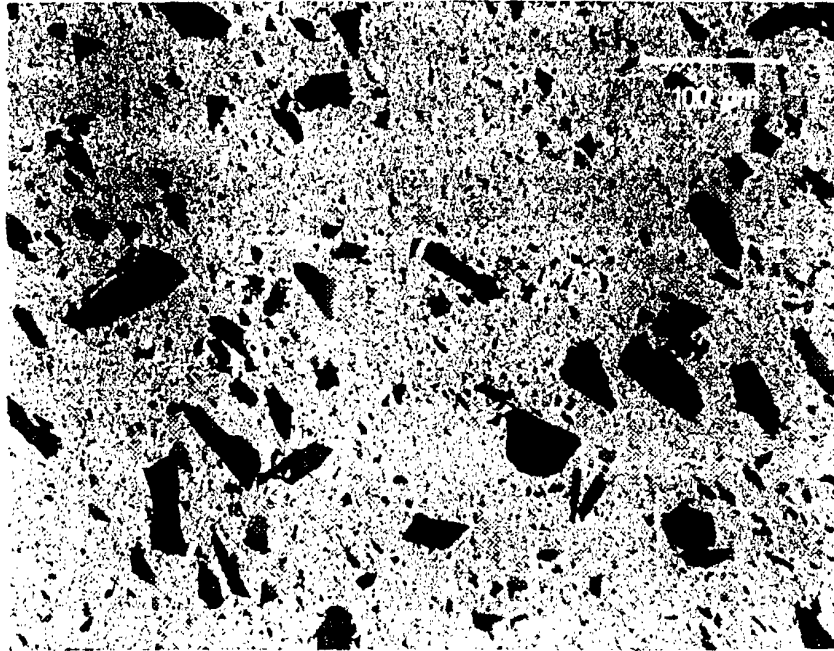


Abb. 2

V=610x

