(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 288 320 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.03.2003 Patentblatt 2003/10

(51) Int Cl.[7]: **C22C 1/08**, B22D 11/06

(21) Anmeldenummer: **02450138.9**

(22) Anmeldetag: **14.06.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **15.06.2001 AT 9362001**
22.04.2002 AT 6212002

(71) Anmelder: **Hütte Klein-Reichenbach Gesellschaft m.b.H.**
3900 Schwarzenau (AT)

(72) Erfinder:
- **Dobesberger, Franz**
  3900 Schwarzenau (AT)
- **Flankl, Herbert**
  4320 Perg (AT)
- **Leitlmeier, Dietmar**
  4600 Schleissheim/Wels (AT)
- **Birgmann, Alois**
  5141 Moosdorf (AT)

(74) Vertreter: **Wildhack, Helmut, Dipl.-Ing. Dr.**
Patentanwälte
Dipl.-Ing. Dr. Helmut Wildhack
Dipl.-Ing. Dr.Gerhard Jellinek
Landstrasser Hauptstrasse 50
1030 Wien (AT)

(54) Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung von Metallschaum

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Einbringen von Gas in eine Schmelze aus schäumbarem Metall mittels mindestens eines Rohres zur Herstellung von Metallschaum.

Weiters umfasst die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Metallschaum sowie einen Metallschaumkörper.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass mindestens ein Gaseintragsrohr (1) vorspringend in die Schmelze (S) einragt und am einragenden Ende einen Gasaustrittsquerschnitt (2) mit einer Fläche von 0,006 bis 0,2 mm^2 sowie eine Rohrstirnfläche von kleiner als 4,0 mm^2 besitzt und dass eine Gleichmäßigkeit des Durchmessers bzw. der Größe der jeweiligen Einzelblasen vorliegt und die Größe der Gasblasen durch eine Einstellung der Einströmparameter des Gases gesteuert wird.

Zur Sicherstellung stabiler Gasblasenablösekriterien über lange Zeitspannen besteht das Gaseintragsrohr zumindest im Bereich des einragenden Endes aus einer Keramik.

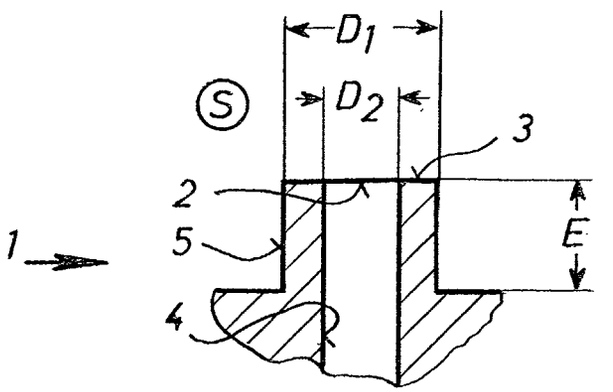

Fig . 1

EP 1 288 320 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Einbringen von Gas in eine Schmelze aus schäumbarem Metall mittels mindestens eines Rohres zur Herstellung von Metallschaum

[0002] Weiters umfasst die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Metallschaum durch Einblasen von Gas in eine schäumbare Metallschmelze.

[0003] In der innovativen Technologie sind zunehmend Werkstoffe mit neuem Eigenschaftsprofil gefordert. Einen derartiger Werkstoff stellt ein Metallschaum dar, der einerseits, im Vergleich mit einem Vollmaterial, ein wesentlich geringeres, spezifisches Gewicht besitzt und andererseits unterschiedliche, mechanische Eigenschaften und ein völlig anderes Werkstoffverhalten aufweist.

[0004] Für eine Herstellung von Metallschaum-Werkstoffen sind verschiedene Verfahren bekannt. Beispielsweise können einer Metallschmelze Substanzen zugesetzt und in dieser verteilt werden, welche Substanzen sich bei der gegebenen Schmelztemperatur der Metallphase unter Gasentwicklung zersetzen. In der Schmelze werden dabei die sich bildenden bzw. die gebildeten Gasblasen eingefroren und derart ein Schaumkörper erstellt.

[0005] Weiters bekannt sind Schäumverfahren, bei welchen Gas unter die Oberfläche eines geschmolzenen schäumbaren Metalles, eines sogenannten flüssigen Verbundstoffmaterials, eingebracht und derart ein Metallschaum erstellt wird.

[0006] Aus der WO 91/01387 bzw. EP- 483184 B1 ist beispielsweise ein derartiges kontinuierliches Schaumverfahren bekannt geworden.

[0007] Ein Einbringen von Gas in das flüssige Metall kann auch gemäß EP-545957 B1 mittels eines Wirbels erfolgen, wobei im derart gebildeten und erstarrten Schaumwerkstoff Poren mit unterschiedlichem Durchmesser vorliegen, woraus ein wenig reproduzierbares Werkstoffverhalten resultiert. Ein Einstellen der Porengröße oder Größenverteilung im Schaumkörper ist dabei nicht in einem ausreichenden Maß möglich.

[0008] Gemäß US 5 281 251 erfolgt ein Einbringen von Gas in die Schmelze mittels einer Eintragvorrichtung, die quirlförmig ausgebildet und an den außenseitigen Flügelenden Gasaustrittsöffnungen aufweist. Eine ähnliche Ausführungsform des Gaseinführungsmittels oder eine vibrierende oder oszillierende Düse offenbart die US 5 334 236.

[0009] Um eine effiziente Schaumbildung zu erreichen, wurde auch vorgeschlagen (EP-544291 A1), dem Flüssigmetall Gas über eine Vielzahl von Düsen in der Art eines oszillierenden Düsenkammes oder mittels einer vertikalen Düse mit darüber rotierendem propellerartigen Rührer zur Verwirbelung der Gasblasen zuzusetzen.

[0010] Allen bekannten Vorrichtungen zur Herstellung von Metallschaum durch ein Einblasen von Gas in eine Schmelhze sind die Nachteile gemeinsam, dass Poren oder Gasblasen mit großen Abmessungsunterschieden gebildet werden und deren Größe und Größenverteilung nicht in gewünschtem Maße einstellbar sind. Daraus ergeben sich vielfach unerwünscht vergleichsweise hohe spezifische Gewichte und ungenügend reproduzierbares Materialverhalten des Metallschaum-Werkstoffes.

[0011] Hier will die Erfindung Abhilfe bieten und setzt sich zum Ziel, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, mit welcher Gas in der Form von annähernd gleichem Volumen aufweisenden, in der Größe einstellbaren Poren oder Blasen in die Schmelze einbringbar ist. Eine weitere Aufgabe der Erfindung stellt die Angabe eines Verfahrens zur Erstellung eines gewünschten Metallschaumes dar.

[0012] Das Ziel wird bei einer gattungsgemäßen Vorrichtung erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass das Gaseintragsrohr vorspringed in die Schmelze einragt und am einragenden Ende einen Gasaustrittsquerschnitt mit einer Fläche von 0,006 bis 0,2 mm sowie eine Rohrstirnfläche von kleiner als 4,0 mm^2 besitzt.

[0013] Die mit der Erfindung erreichten Vorteile sind im Wesentlichen darin zu sehen, dass am Gaseintragsrohr bei der Bildung der Poren für deren bestimmte Größe stabile Blasenablösungskriterien geschaffen werden.

[0014] Wird in ein schäumbares Metall gemäß dem Stand der Technik Gas durch eine Bohrung in einer Düsenplatte eingebracht, so entsteht, wie Untersuchungen zeigten, eine Blase, wobei in der Folge rund um die Bohrung eine Erweiterung des Blasenhaftungsbereiches eintritt. Der Zeitpunkt der Ablösung und die dabei in der Praxis gebildete Größe der Blase an der Düsenplatte unterliegen keiner strengen und engen Gesetzmäßigkeit, so dass derart gebildeter Metallschaum mit Blasen, welche verschiedendste Durchmesser aufweisen, gebildet ist. Sind in der Düsenplatte beispielsweise zwei oder mehrere Bohrungen für einen Gaseintritt in das flüssige Metall vorgesehen, kann die Erweiterung des jeweiligen Blasenhaftungsbereiches an der Plattenoberfläche so weit fortschreiten, dass die Einzelblasen sich unter Bildung einer übergroßen Blase vereinigen, was einer gewünschten Schaumbildung entgegengerichtet ist. Wie eingangs angeführt, wurde schon versucht, eine gezielte Gasblasenablösung von der Düse oder eine Zerteilung großer Gasblasen durch eine Relativbewegung der Gaseintrittsöffnung im Metall oder durch Verwirbelung zu erreichen, was jedoch nicht in ausreichendem Maße eine gewünschte Wirkung erbrachte.

[0015] Durch die erfindungsgemäße geometrische Gestaltung des Gaseintragsrohres können erstmals gewünschte und stabile Gasblasenablösekriterien in der Schmelze geschaffen werden, welche im Wesentlichen gleich hohes Einzelblasenvolumen und demgemäß gebildeten Metallschaum ergeben.

[0016] Die Ausbildung der Vorrichtung kann mit Vor-

teil so getroffen werden, dass die Austrittsöffnung des Gaseintragsrohres in einem Ausmaß von mindestens dem 5-fachen, vorzugsweise von mindestens dem 10-fachen, des Wertes der größten Innenabmessung der Austrittsöffnung in die Schmelze einragend ausgebildet ist. Damit sind besonders wirkungsvoll stabile Abreißkriterien der Blasen in der Schmelze erreichbar.

[0017] Wenn in günstiger Weise das Gaseintragsrohr eine kreisrunde Gasaustrittsöffnung und eine Rohrstirnkante oder kreisringförmige Rohrstirnfläche besitzt, sind besonders wirtschaftlich Rohrstirnausbildungen zur Steuerung der Gasblasengröße erstellbar.

[0018] Um eine große Stabilität bei einer geringen Stirnfläche des Gaseintragsrohres und auch eine hohe Haltbarkeit der Vorrichtung im Schäumbetrieb zu erreichen, kann es vorteilhaft sein, wenn das in die Schmelze einragende Gaseintragsrohr zumindest im Bereich des Gasaustrittsendes eine kugelsegment-, kegelstumpf- oder pyramidenstumpfförmige Außenkontur aufweist. Dabei ist von Vorteil, die Außenkontur des Gaseintragsrohres so auszuführen, dass der Winkel, den die Erzeugende der Stumpfoberfläche mit der Achse des Gaseintrittskanales einschließt, einen Wert von kleiner als 60°, vorzugsweise von kleiner als 45°, aufweist.

[0019] Anlagentechnisch, aber auch im Hinblick auf die Leistung der Anlage und die Produktgüte kann es weiters einen wesentlichen Vorteil erbringen, wenn mindestens 2, vorzugsweise mehr als 2 Gaseintragsrohre, insbesondere mit jeweils gleichem gegenseitigen Abstand, der vorzugsweise einen Wert von größer als dem 10-fachen des Einrageausmaßes der Austrittsöffnung bzw. des Gaseintragsrohres in die Schmelze aufweist, in einem austauschbaren Düsenstock im Schmelzengefäß von Metallschaumanlagen angeordnet sind. Derart ist eine Bereitstellung einer großen hochwertigen Schaummenge in kurzen Zeitspannen möglich, was gegebenenfalls bei einer vormaterialintensiven Weiterverarbeitung, insbesondere von Großteilen, gewünscht wird.

[0020] Wenngleich mit einer Vorrichtung der vorstehend genannten Art vorzügliche Ergebnisse im Einzelversuch und im Kleinserienbetrieb betreffend eine Gleichmäßigkeit der Gasblasenvolumina erhalten werden, so wurde nun bei Versuchen zur Machbarkeit der Bereitstellung von Metallschaum für eine Großserienproduktion von Bauteilen und Verbundteilen für die Fahrzeugindustrie festgestellt, das während eines dauerhaften Betriebes die Geometrie der Vorrichtung durch Schmelzenangriff bzw. Reaktion der Vorrichtung mit einer Schmelze verändert werden kann, wodurch eine Sicherstellung stabiler Gasblasenablösekriterien im Dauerbetrieb nicht mehr gegeben erscheint.

[0021] Dadurch begründet zielt die Erfindung auf eine weitere Ausgestaltung ab, mit welcher auch im Dauerbetrieb über lange Zeitspannen stabile Gasblasenablösekriterien beim Aufschäumen einer Metallschmelze erreicht werden können.

[0022] Die Aufgabe, eine Ausgestaltung der Vorrichtung zu schaffen, mit welcher auch im Dauerbetrieb über lange Zeitspannen stabile Gasblasenablösekriterien beim Aufschäumen einer Metallschmelze erreicht werden können, wird dadurch gelöst, dass das Gaseintragsrohr zumindest im Bereich des einragenden Endes aus einer Keramik besteht.

[0023] Die so erzielten Vorteile sind insbesondere darin zu sehen, dass bei erfindungsgemäßer Ausbildung der Vorrichtung die Geometrie derselben auch bei langanhaltendem Kontakt mit einer zumindest mehrere hundert Grad Celsius heißen Metallschmelze im Wesentlichen unverändert bleibt, weshalb auch bei oftmaliger Verwendung der Vorrichtung über lange Zeitspannen beim Aufschäumen von Metallschmelzen stabile Gasblasenablösekriterien erzielt werden können. Die hohe Formstabilität und lange Verwendungsdauer der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei Schmelzenkontakt ermöglicht es nunmehr, Metallschäume gleichbleibend hoher Qualität im Dauerbetrieb ohne Reparatur bzw. Austausch einer Vorrichtung bereitzustellen. Dabei nützt die Erfindung die Erkenntnis aus, dass die aus Keramik gebildeten Teile der Vorrichtung, gegebenenfalls die gesamte Vorrichtung, bei Vergleich mit bisher verwendeten stahlgefertigten Einrichtungen mit Metallschmelzen signifikant langsamer reagieren und dabei gleichzeitig bei gleicher Geometrie ebenfalls die Ausbildung eines hydrophoben Systems bezüglich einer Gasblasenausbildung beim Eintrag von Gas in die Schmelze ermöglichen.

[0024] Eine besonders hohe Reaktionsträgheit und damit vorzügliche Gebrauchseigenschaften werden bei einer erfindungsgemäßen Vorrichtung erzielt, wenn die Keramik eine Oxidkeramik, insbesondere eine Aluminiumoxidkeramik, ist.

[0025] Die weitere Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, mit welchem hochwertiger Metallschaum durch Einblasen von Gas in ein schäumbares Metall erstellbar ist, wird dadurch gelöst, dass eine Gleichmäßigkeit des Durchmessers bzw. der Größe der jeweiligen Einzelblasen und die Größe der Gasblasen durch eine geometrische Düsengestaltung und durch eine Einstellung der Einströmparameter des Gases in die Metallschmelze gesteuert werden.

[0026] Die Vorteile des so erzielten Metallschaumes sind insbesondere darin zu sehen, dass im Wesentlichen gleich große Blasen die Stützkriterien der metallischen Begrenzungen bei mechanischer Belastung im Hinblick auf ein niedriges spezifisches Gewicht des Schaumkörpers und ein gewünschtes Materialverhalten wesentlich verbessern.

[0027] Wenn Metallschaum-Körper verwendungsorientiert mit verschiedenen Durchmessern der jeweils gleich großen Blasen gefordert werden, kann erfindungsgemäß auf einfache Weise die Gleichmäßigkeit der Größe der Einzelblasen mittels des Einragens des Gaseintragsrohres in die Schmelze erreicht und die Größe der Einzelblasen durch die Größe des Gasaus-

trittsquerschnittes, die Größe der Eintragsrohrstirnfläche und die Höhe des Gasdruckes gesteuert werden. Besitzen nämlich Metallschaumkörper jeweils gleichvolumige, jedoch unterschiedlich große Gasblasen, so ist auch deren Materialverhalten bei Verformung unterschiedlich, wodurch für bestimmte Anwendungszwecke ein dafür bestens geeigneter Gegenstand erstellt werden kann.

[0028] Umfangreiche Versuche haben gezeigt, dass die Gleichmäßigkeit der Gasblasengröße weiter gesteigert werden kann, wenn das Gas mit einem um einen Mittelwert schwingenden bzw. wechselnden Druck und/oder durch oszillierend bewegte Düsen in die Schmelze eingetragen wird.

[0029] Verfahrenstechnisch, aber auch im Hinblick auf eine hohe Produktgüte kann weiter von Vorteil sein, wenn das Gas mit einem Druck von 0,3 bis 12 bar, vorzugweise 0,7 bis 5 bar, in das schäumende Metall eingeblasen wird.

[0030] Besonders leichtes bzw. geringes Raumgewicht aufweisende Metallschaumkörper können erstellt werden, wenn die metallische Schmelze aus Leichtmetall, vorzugsweise aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung erstellt wird. Damit kann auch ein vielseitig gefordertes Werkstoffverhalten bei niedriger Masse des Teiles erreicht werden.

[0031] Die Schäumbarkeit des Metalles, aber auch die Ausbildung der Schaummatrix bzw. der Schaumwand können wesentlich verbessert werden, wenn zur Erstellung der schäumbaren Metallschmelze SiC-Partikel und/oder Al_2O_3-Partikel, sowie weitere nichtmetallische Partikel und/oder Partikel aus intermetallischen Phasen eingesetzt werden. Dabei ist es im Hinblick auf die Stabilität und Festigkeit, insbesondere Knickfestigkeit der Schaumwände günstig, wenn Partikel zur Stabilisierung des Metallschaumes mit einer Größe von 1 bis 50 µm, vorzugsweise 3 bis 20 µm, verwendet und gleichmäßig in die Schaummatrix verteilt werden, wobei vorzügliche Ergebnisse erreicht werden können, wenn im Basismetall eine schäumbare Metallschmelze mit einem Volumsanteil an Partikeln von 2 bis 50 Vol.-%, insbesondere von 18 bis 28 Vol.-% erstellt wird.

[0032] Bei einem Durchführen eines kontinuierlichen Aufschäumen nach dem vorgenannten Verfahren wurde gefunden, dass es insbesondere bei geringen Partikelgehalten der Schmelzen in einem geringen Maße zu einem Aufplatzen von über der Schmelzenoberfläche befindlichen, partikel- und metallbehafteten Blasen kommen kann. Dadurch können sich im fließfähigen Metallschaum Blasen vereinigen, so dass ein erstarrter Metallschaum größere aus zwei oder mehr Einzelblasen gebildete Poren aufweisen kann, welche Poren Ausgangspunkte für ein Materialversagen bei mechanischer Beanspruchung, insbesondere bei einer hohen punktuellen Druckbeanspruchung, sein können.

[0033] Das Ziel der Erfindung, das Verfahren derart weiterzubilden, dass ein teilweises Aufplatzen von Blasen weitestgehend verhindert wird, wird dadurch erreicht, dass das Gas mindestens in einem Abstand S (in Millimeter) gemäß

$$S = - 11,5 + 144,6 \times P^{-0,55}$$

wobei P der Zahlenwert des Partikelgehaltes der Schmelze in Vol.-% ist, unterhalb der Schmelzenoberfläche eingeblasen wird.

[0034] Die durch die erfindungsgemäße Weiterbildung erzielten Vorteile liegen vor allem darin, dass durch das Vorsehen einer erfindungsgemäßen Steighöhe die in die aufzuschäumende Metallschmelze eingebrachten Gasblasen beim Aufsteigen an die Schmelzenoberfläche einen Mindestweg in der partikelhältigen Schmelze zurücklegen müssen, auf welchem Weg an den Oberflächen der Gasblasen jeweils genügend Partikel angesammelt werden können, um die Blasen, sobald sie die Schmelzenoberfläche durchquert haben, gegen ein Aufplatzen zu stabilisieren. Insbesondere können dadurch auch aufschäumbare Metallschmelzen mit niedrigem Partikelgehalt, beispielsweise von zwei Volumsprozent, nunmehr auf einfache Weise in stabile Metallschäume hoher Güte zu überführt werden, indem gemäß der Erfindung eine entsprechend große Steighöhe vorgesehen wird.

[0035] Wenn, wie weiters gefunden wurde, ein sauerstoffhältiges Gas, vorzugsweise Luft, insbesondere im Wesentlichen reiner Sauerstoff, eingeblasen wird, können in überraschender Weise die vorteilhaften Wirkungen einer auf den Partikelgehalt der Schmelze abgestimmten Gasblasen-Mindeststeighöhe erhöht werden, weil an der Oberfläche der partikel- und metallbehafteten Gasblase gleichzeitig eine verstärkend wirkende Oxidschicht ausgebildet wird.

[0036] Zur Bereitstellung von Vormaterial zur Fertigung von Metallschaumgegenständen mit gewünschtem Materialverhalten zielt die Erfindung auch darauf ab, einen fließfähigen Metallschaum mit Gasblasen, welche durch Wände aus einer flüssigen Metallmatrix mit festen Verstärkungspartikeln begrenzt ist, zu schaffen. Dieses Ziel wird dadurch erreicht, dass der Durchmesser der größten Gasblasen gebrochen durch denjenigen der kleinsten Gasblasen einen Wert von kleiner als 2,5 ergibt. Ein derartig fließfähiger Metallschaum kann bei Anwendung unterschiedlicher Mittel mit hoher Genauigkeit zu Teilen geformt und erstarren gelassen werden, wobei je nach Einzelblasengröße und Verhältniswert eine bestimmte Dichte des Teiles und dessen Stauchverhalten bei Druckspannungsbeaufschlagung erzielbar sind. Schaumteile mit einer Dichte von jeweils 0,09 bis 0,11 erfahren beispielsweise bei nur geringfügig ansteigenden Druckspannungen von 0,25 bis 0,8 MPa Stauchgrade bis 70 %.

[0037] Ein Metallschaumkörper, welcher sowohl hoher flächiger als auch hoher punktueller mechanischer Belastung standhält, wird dadurch erreicht, dass bei einem Metallschaum der eingangs genannten Art die Po-

ren im Wesentlichen sphärisch und/oder ellipsoid geschlossen ausgeformt sind, wobei die jeweils größten Durchmesser der Poren monomodal verteilt sind und die Poren im Wesentlichen aus einzelnen stabilisierten Blasen gebildet sind und dass die Wandinnenoberflächen zumindest teilweise mit einem Oxid überzogen sind.

[0038] Ein erfindungsgemäßer Metallschaumkörper weist bei einer hinsichtlich der Isotropie mechanischer Eigenschaften günstigen monomodalen Größenverteilung von räumlich gleichmäßig verteilten Poren zusätzlich eine oxidverstärkte Porenwandstruktur auf, wodurch eine erhöhte Belastbarkeit im Gebrauch erzielt bzw. eine Verwendungsdauer von Bauteilen mit einer Metallschaumeinheit gesteigert werden kann. Aufgrund einer Ausbildung der Poren dergestalt, dass die Poren im Wesentlichen einzelnen, stabilisierten Blasen eines fließfähigen Metallschaumes entsprechen, eignet sich ein erfindungsgemäßer Metallschaumkörper zum Gebrauch in Bauteilen nicht nur bei hoher flächiger Belastung, sondern auch vorzüglich bei hoher punktförmig auftretender Belastung.

[0039] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von lediglich jeweils einen Ausführungsweg darstellenden Zeichnungen näher erläutert.

[0040] Es zeigt:

Fig. 1 ein Gaseintragsrohr
Fig. 2 ein Gaseintragsrohr mit kegelstumpfförmiger Außenkontur
Fig. 3 einen Düsenstock mit mehreren Gaseintragsrohren

[0041] In Fig. 1 ist ein Gaseintragsrohr 1 dargestellt, welches mit einem Ausmaß E in eine Schmelze einragt. Das Gaseintragsrohr 1 weist zwischen innerer Oberfläche 4 und äußerer Oberfläche 5 eine gleichbleibende Wandstärke mit einer Rohrstirnfläche 3, die in die Schmelze S ragt, auf.

[0042] Fig. 2 zeigt ein Gaseintragsrohr 1 mit einem Einragemaß E in eine Schmelze S, welches Rohr 1 im Austrittsbereich eine kegelstumpf- oder pyramidenstumpfförmige Außenkontur 6 aufweist, die in der Verlängerung einen Winkel zur Achse 7 eines Gaseintrittskanales besitzt. Mit einer derartigen Ausführungsart eines Gaseintragsrohres 1 kann bei hoher Stabilität und Stärke des Basisteiles eine Rohrstirnfläche 3 mit geringstem Flächeninhalt bis zu einer Stirnkante hin gebildet werden.

[0043] Aus Fig. 3 ist eine Ausführungsart mit einem Düsenstock 8, welcher in einer Wand 9 eines Schmelzengefäßes vorzugsweise lösbar angeordnet ist, entnehmbar. Im Düsenstock 8 sind drei in eine Schmelze S einragende Gaseintragsrohre 1, 1', 1" mit einem Abstand A_1 und A_2 zueinander angeordnet. Derartige leicht austauschbare Düsenstöcke 8 werden bevorzugt dann verwendet, wenn Metallschäume mit im Wesentlichen gleichem Einzelblasenvolumen, jedoch mit unterschiedlichen Blasengrößen herzustellen sind, weil dadurch die Bildungskriterien: Größe des Gasaustrittsquerschnittes und Größe der Gaseintragsrohr-Stirnfläche, kurzfristig änderbar sind.

[0044] Anhand der schematischen Zeichnungen sollen die Blasenbildungsmechanismen nochmals kurz dargelegt werden:

[0045] Erfolgt ein Einbringen von Gas in eine Schmelze S, so wird in dieser an der Austrittsöffnung 2 des Eintragloches 1 eine konvexe Einwölbung gebildet. Um diese sich vergrößernde Einwölbung hängt die Schmelze an der Umgebungsfläche der Gasaustrittsöffnung. Weil nun das Grenzflächensystem Schmelze/Wandung als hydrophobes System vorliegt, ist die Haftfestigkeit des Flüssigmetalles rund um die Gasaustrittsöffnung gering, was zu Ablöseerscheinungen und flächigem Auswandern der Gasblasenbegrenzung an der Wandung führt. Dadurch sind die Ablösebedingungen für die Gasblase weitgehend unbestimmt, was zu unterschiedlichsten Blasengrößen führen kann. Sollen mittels mehrerer benachbarter Austrittsöffnungen Blasen erstellt werden, so vereinigen sich diese in den meisten Fällen, wodurch eine gewünschte Schäumung verhindert wird oder eine ungleichmäßige Blasenstruktur des Metallschaumes gebildet wird.

[0046] Weist nun beispielsweise ein erfindungsgemäß vorragendes Gaseintragsrohr 1 einen Innendurchmesser D2 und einen Gasaustrittsquerschnitt 2 sowie einen Außendurchmesser D1 auf, so resultiert daraus das Maß der Rohrstirnfläche 3.

[0047] Bei einen Gaseinbringen in die Schmelze kann die Gasblasenbegrenzung jedoch nur bis zur Außenkante der Rohrstirnfläche 3 auswandern, wodurch ein wesentlicher Einfluß auf die Ablösekriterien gegeben ist. Auch benachbarte Gaseintragsrohre 1, 1', 1", die in eine schäumbare Schmelze S einragen, bilden auf Grund der an den Außenkanten der Stirnflächen 3 rückspringenden Flächen definierte Ablösekriterien für Gasblasen aus, so dass eine Vereinigung und Entstehung großer Blasen weitgehend ausgeschlossen ist.

[0048] Im Weiteren wird eine Ausgestaltung der Erfindung mit Bezug zu Abbildungen beispielhaft noch näher erläutert. dabei zeigen:

Fig. 4: die Abhängigkeit der erfindungsgemäß vorgesehenen Mindeststeighöhe vom Partikelgehalt der Schmelze.
Fig. 5: die Porengrößenverteilung eines erfindungsgemäßen Metallschaumkörpers.

[0049] In umfangreichen Versuchsreihen wurden verschiedene jeweils partikelhältige Aluminiumlegierungen, beispielsweise AlSi7Mg, eine auch als A 356 bekannte Aluminiumlegierung mit, neben Aluminium, im Wesentlichen 7 Gew.-% Silicium und 1 Gew.-% Magnesium, oder beispielsweise AA 6061 (Aluminiumlegierung mit einer Zusammensetzung gemäß Normung Aluminium Association Nummer 6061), in einem Schmelz-

tiegel aufgeschmolzen, wobei eine Einstellung des Partikelgehaltes in der Schmelze gegebenenfalls durch Beimengen einer in der chemischen Zusammensetzung entsprechenden, paritikelfreien Legierung erfolgte. Anschließend wurde in die partikelhältigen Schmelzen Gas eingetragen. Der Eintrag erfolgte in allen Versuchen jeweils über einen einzelnen Düsenkörper mit einer Austrittsöffnung, wobei Düsenkörper aus Chrom-Nickel-Stahl und aus Keramik zum Einsatz kamen.

[0050] In einer ersten Versuchsreihe wurde die Haltbarkeit verschiedener Düsenkörper untersucht. Bei Durchführung von jeweils fünf Aufschäumversuchen über Zeiträume von 20 Sekunden bis zu 45 Minuten mit Chrom-Nickel-Stahldüsen einerseits und mit Aluminiumoxiddüsen andererseits konnte bei den Stahldüsen, die länger als ca. 2 Minuten in Gebrauch waren, optisch eine Veränderung der Form der Gasaustrittsöffnung durch Schmelzenangriff festgestellt werden. In dementsprechender Übereinstimmung wies der zu Beginn und am Ende des Aufschäumverfahrens erstellte und von der Schmelzenoberfläche abgenommene Metallschaum verschiedene Porendurchmesser auf. Im Gegensatz dazu waren bei den aus Aluminiumoxid bestehenden Düsenkörper selbst bei einem kontinuierlichen Einsatz über 45 Minuten keiner derartigen Veränderungen der Geometrie sichtbar. Demgemäß konnte über den gesamten Versuchszeitraum Metallschaum mit gleichwertigen Poreneigenschaften erstellt werden. Auch andere keramische Materialien, wie SiO_2 oder SiO_2/Al_2O_3, können mit Vorteil gegenüber Stählen verwendet werden; höchste Gebrauchsdauer wird vergleichsweise aber mit Düsenkörpern aus Al_2O_3 erzielt.

[0051] In einer zweiten Versuchsreihe wurde mit Düsenkörpern aus Aluminiumoxid bei fixiertem Partikelgehalt P der Schmelze die Steighöhe S des eingebrachten Gasses variiert und die Qualität der bei verschiedenen Gaseinbringtiefen gebildeten Metallschäume untersucht. Dabei zeigte sich mit Bezug auf Fig. 4 folgendes Verhalten: Bei geringem Partikelgehalt P der Schmelze, beispielsweise 2 Vol.-%, kann bei einer niedrigen Steighöhe S Metallschaum gebildet werden, in dem, bei querschnittlicher Betrachtung, Poren vorhanden sind, die aus zumindest zwei Blasen gebildet sind. Solche Poren sind einfach daran erkennbar, dass sie ellipsoid-länglich mit einem hohen Verhältnis der längeren zur kürzeren Achse ausgebildet sind. Ein derartiges Verhalten ist bei den untersuchten Partikelgehalten im Steighöhenbereich A der Fig. 4 anzutreffen. Sobald jedoch die Steighöhe S bei einem gegebenen Partikelgehalt P nicht mehr im Bereich A der Fig. 4 zu liegen kommt, sondern derart erhöht wird, sodass sie in Bereich B fällt, kann ein Metallschaum erstellt werden, bei dem die Blasen auf Grund des erhöhten Steigweges genügend Paritkel an der Oberfläche aufsammeln können, um gegenüber einem Aufplatzen im flüssigen Metallschaum stabilisiert zu werden. Die experimentell ermittelten notwendigen Steighöhen zur im Wesentlichen vollständigen Blasenstabilisierung sind in Fig. 4 für verschiendene Partikelgehalte in der Form von Dreiecken eingetragen. Die den Bereich A und Bereich B trennende Linie stellt eine an die Experimentaldaten angepasste Ausgleichskurve der allgemeinen Form

$$Y = a + X^b$$

dar.

[0052] Bei Einhaltung der Mindeststeighöhe wurden beim Metallschaum im Querschnitt zu mehr als 95 %, teilweise zu mehr als 99 %, Poren festgestellt, die zu einzelnen Gasblasen korrespondierten. Fig. 2 zeigt die Porengrößenverteilung eines Metallschaumes, der unter Einhaltung der erfindungsgemäßen Aufschäumbedingungen erstellt wurde. Wie anhand des Histogrammes in Fig. 5 ersichtlich, ist bei einer monomodalen Verteilung der Porengrößen bei einem mittleren Wert von 4 mm der Anteil von Poren mit ca. 6 mm anteilsmäßig nur geringfügig höher als jener mit 2 mm, das heißt, die Porengrößen sind zu beiden Seiten eines Mittelwertes in annähernd gleichem Ausmaß bzw. der gleichen Häufigkeit verteilt.

[0053] In einer dritten Versuchsreihe wurden die Auswirkungen des eingeblasenen Gases auf die Materialzusammensetzung und die Materialeigenschaften studiert. Dabei hat sich im Rahmen sekundärelektronischmikroskopischer (SEM) Untersuchungen unerwartet gezeigt, dass bei Verwendung von sauerstoffhältigen Gasen, wie kostengünstiger Luft, an den Porenoberflächen in Teilbereichen eine zusätzliche Schicht aus einem Oxid ausgebildet ist. Die Oxidschicht wirkt auf den Metallschaum verstärkend, wie eine 5 bis 7 %-ige Erhöhung der zur Kompression von erfindungsgemäßen Metallschaumkörpern auf halbes Volumen notwendige Verformungsenergie zeigte. Eine weiter erhöhte Steigerung derselben Verformungsenergie von insgesamt ca. 10 % wurde bei der Verwendung von reinen Sauerstoff als Aufschäumgas beobachtet. Solchenfalls sind, wie mittels SEM Aufnahmen gezeigt werden konnte, die Wandinnenoberflächen im Wesentlichen vollständig, d. h. zumindest zu 90 %, mit einer Oxidschicht überzogen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Einbringen von Gas in eine Schmelze aus schäumbarem Metall mittels mindestens eines Rohres zur Herstellung von Metallschaum, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gaseintragsrohr (1) vorspringend in die Schmelze (S) einragt und am einragenden Ende einen Gasaustrittsquerschnitt (2) mit einer Fläche von 0,006 bis 0,2 mm^2 sowie eine Rohrstirnfläche (3) von kleiner 4,0 mm^2 besitzt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekenn-**

zeichnet, dass die Austrittsöffnung (2) des Gaseintragsrohres (1) in einem Ausmaß (E) von mindestens dem 5-fachen, vorzugsweise von mindestens dem 10-fachen, des Wertes der größten Innenabmessung (D2) der Austrittsöffnung (2) in die Schmelze einragend ausgebildet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gaseintragsrohr (1) eine kreisrunde Gasaustrittsöffnung (2) und eine Rohrstirnkante oder kreisringförmige Rohrstirnfläche (3) besitzt.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das in die Schmelze (S) einragende Gaseintragsrohr (1) zumindest im Bereich des Gasaustrittsendes (2) eine kugelsegment-, kegelstumpf- oder pyramidenstumpfförmige Außenkontur (6) aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Winkel (α), den die Erzeugende (61) der Stumpfoberfläche (6) mit der Achse (7) des Gaseintrittskanales einschließt, einen Wert von kleiner als 60°, vorzugsweise von kleiner als 45°, aufweist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens 2, vorzugsweise mehr als 2 Gaseintragsrohre (1,1',1"), insbesondere mit jeweils gleichem gegenseitigen Abstand (A1, A2), der vorzugsweise einen Wert von größer als dem 10-fachen des Einrageausmaßes (E) der Austrittsöffnung in die Schmelze aufweist, in einem austauschbaren Düsenstock (8) im Schmelzengefäß (9) von Metallschaumanlagen angeordnet sind.

$$A \geq 10 \times E$$

7. Vorrichtung zum Einbringen von Gas in eine Schmelze aus schäumbarem Metall mittels mindestens eines Rohres zur Herstellung von Metallschaum, wobei das Gaseintragsrohr vorspringend in die Schmelze einragt und am einragenden Ende einen Gasaustrittsquerschnitt mit einer Fläche von 0,006 bis 0,2 mm^2 sowie eine Rohrstirnfläche von kleiner 4,0 mm^2 besitzt, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gaseintragsrohr zumindest im Bereich des einragenden Endes aus einer Keramik besteht.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Keramik eine Oxidkeramik, insbesondere eine Aluminiumoxidkeramik, ist.

9. Verfahren zur Herstellung von Metallschaum durch Einblasen von Gas in eine schäumbare Metallschmelze, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Gleichmäßigkeit des Durchmessers bzw. der Größe der jeweiligen Einzelblasen und die Größe der Gasblasen durch eine geometrische Düsengestaltung und eine Einstellung der Einströmparameter des Gases in die Metallschmelze gesteuert werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gleichmäßigkeit der Größe der Einzelblasen mittels des Einragens des Gaseintragsrohres in die Schmelze erreicht und die Größe der Einzelblasen durch die Größe des Gasaustrittsquerschnittes, die Größe der Eintragsrohrstirnfläche und die Höhe des Gasdruckes gesteuert werden.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gas mit einem um einen Mittelwert schwingenden bzw. wechselnden Druck und/oder durch oszillierend bewegte Düsen in die Schmelze eingetragen wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gas mit einem Druck von 0,3 - 12 bar, vorzugsweise mit 0,7 bis 5 bar, eingeblasen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die metallische Schmelze aus Leichtmetall, vorzugsweise aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung, erstellt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erstellung der schäumbaren Metallschmelze SiC-Partikel und/oder Al_2O_3-Partikel sowie weitere nichtmetallische Partikel und/oder intermetallische Phase eingesetzt werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** Partikel zur Stabilisierung des Metallschaumes mit einer Größe von 1 bis 50 µm, vorzugsweise 3 bis 20 µm, verwendet werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die schäumbare Metallschmelze mit einem Volumsanteil an Partikeln von 2 bis 50 Vol.-%, vorzugsweise 18 bis 28 Vol.-%, erstellt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16 zur Herstellung von Metallschaum durch Einblasen von Gas in eine schäumbare Metallschmelze, wobei eine Gleichmäßigkeit des Durchmessers bzw. der Größe der jeweiligen Einzelblasen und die Größe der Gasblasen gesteuert werden, **dadurch ge-**

kennzeichnet, dass das Gas mindestens in einem Abstand S (in Millimeter) gemäß

$$S = -11,5 + 144,6 \times P^{-0,55}$$

wobei P der Zahlenwert des Partikelgehaltes der Schmelze in Vol.-% ist, unterhalb der Schmelzenoberfläche eingeblasen wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein sauerstoffhältiges Gas, vorzugsweise Luft, insbesondere im Wesentlichen reiner Sauerstoff, eingeblasen wird.

19. Fließfähiger Metallschaum mit Gasblasen, welche durch Wände aus einer flüssigen Metallmatrix mit festen Verstärkungspartikeln begrenzt sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Durchmesser der größten Gasblasen gebrochen durch denjenigen der kleinsten Gasblasen einen Wert von kleiner als 2,5 ergibt.

20. Metallschaumkörper mit räumlich gleichmäßig verteilten, von einer festen Wand umschlossenen Poren, wobei die Wand aus einer metallischen Matrix und in dieser eingelagerten Partikeln besteht, **dadurch gekennzeichent,** dass die Poren im Wesentlichen sphärisch und/oder ellipsoid geschlossen ausgeformt sind, wobei die jeweils größten Durchmesser der Poren monomodal verteilt sind und die Poren im Wesentlichen aus einzelnen stalbilisierten Blasen gebildet sind und dass die Wandinnenoberflächen zumindest teilweise mit einem Oxid überzogen sind.

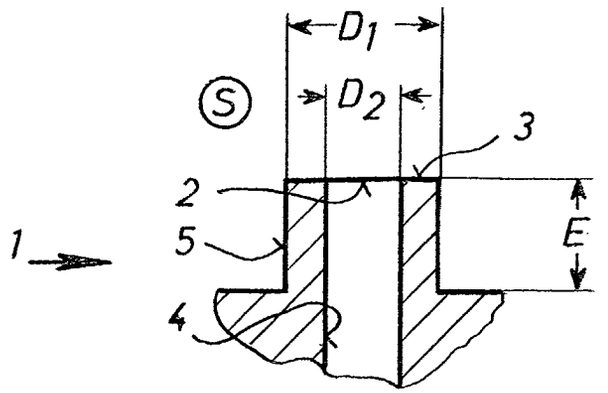

Fig . 1

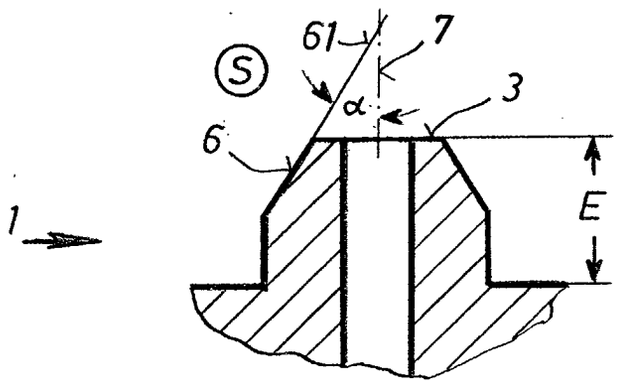

Fig . 2

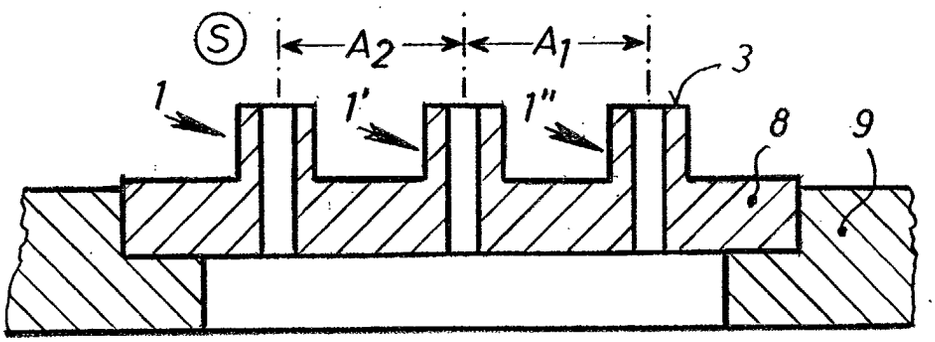

Fig . 3

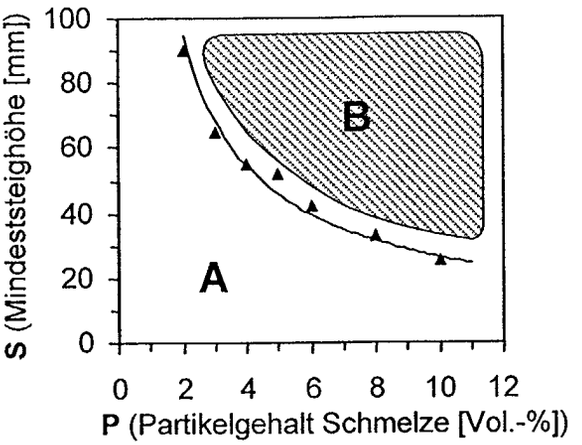
S (Mindeststeighöhe [mm])
100
80
60
40
20
0
B
A
0
2
4
6
8
10
12
P (Partikelgehalt Schmelze [Vol.-%])

Fig. 4

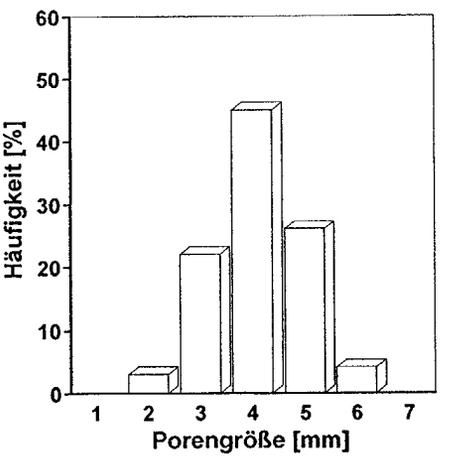
Häufigkeit [%]
60
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
6
7
Porengröße [mm]

Fig. 5