

Eigenschaften und Anwendungsgebiete offenporiger metallischer Werkstoffe

John Banhart

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung
Wiener Str. 12, 28359 Bremen

Abstract

Eine gießtechnische Methode zur Herstellung offenporöser metallischer Werkstoffe wird vorgestellt und einige nach dieser Methode hergestellte Proben und Bauteile gezeigt. Eine Auswahl an Eigenschaften der porösen Werkstoffe wird präsentiert, um darauf aufbauend die potentiellen Anwendungsgebiete für das Material zu diskutieren.

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat das Interesse an Metallschäumen insbesondere aus Aluminium und Aluminiumlegierungen deutlich zugenommen. Geänderte Rahmenbedingungen hinsichtlich der Anwendung von Werkstoffen und veränderte Anforderungen der Anwender bewirken eine stetige Nachfrage nach Materialien mit besonderen Eigenschaftskombinationen besonders auf dem Leichtbausektor. Durch Weiter- bzw. Neuentwicklung von Herstellungsverfahren in den letzten 10 Jahren stehen heute schmelz- und pulvermetallurgische Methoden zur Herstellung von Metallschäumen zur Verfügung, die viele der neuen Anforderungen erfüllen [1].

Die meisten der in den letzten Jahren entwickelten Verfahren liefern geschlossenporige oder nahezu geschlossenporige Schäume. Eine solche Morphologie ist für die mechanischen Eigenschaften und damit für *strukturelle* Anwendungen wie z.B. für Leichtbauelemente im Fahrzeugbau [2,3] von Interesse. *Funktionelle* Anwendungen z.B. als Wärmetauscher, Filter oder Schalldämpfer erfordern jedoch eine überwiegend offenporige Struktur, damit ein Medium (Luft, Wasser etc.) in den Schaum eindringen oder durch ihn durchtreten kann. Offenporige Metallschäume können auf einem Umweg über offenporige Kunststoffschäume durch galvanische Beschichtung [4] oder Feinguß [5] erzeugt werden. Solche Verfahren sind jedoch u.U. recht aufwendig und damit teuer. Für die durch Feinguß hergestellten Schäume wird gegenwärtig beispielsweise ein Preis nach der Faustregel „10 Dollar pro cubic inch“, angegeben (650 Euro pro Liter). Dagegen werden die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Werkstoffe zu weniger als einem 1/20 dieses Preises erhältlich sein. Die erwähnten Verfahren liefern zudem nur eine bestimmte, durch den Kunststoffschäum vorgegebene Zellmorphologie, die für einige Anwendungsfälle nicht ideal ist.

Ein seit langem bekanntes Verfahren ist das Umgießen von Füllstoffen mit metallischen Schmelzen [6]. Nach der Entfernung der Füllstoffe liegt dann ein schwammartiger, offenporiger Körper mit miteinander verbundenen Poren vor. Durch Wahl der Füllstoffe kann die Dichte und Porenmorphologie in weiten Grenzen variiert werden. In der Vergangenheit wiesen die nach diesem Verfahren hergestellten Materialien Mängel auf (z.B. Reste von Füllstoffen, unvollständige Füllung der Interstitien zwischen den Füllstoffpartikeln etc.) oder waren nicht umweltfreundlich in ihrer Herstellung. Nach

einer neueren Variante des Verfahrens können diese Nachteile jedoch weitgehend vermieden werden.

Im vorliegenden Beitrag soll ein nach diesem Gießverfahren hergestellter Werkstoff vorgestellt werden. Einige seiner Eigenschaften und möglichen Anwendungsgebiete werden skizziert.

2. Verfahren und Werkstoff

Offenporige Metallschäume werden durch Umgießen einer Platzhalterstruktur mit einer Aluminium-Gußlegierung (im Prinzip auch mit jeder anderen gießbaren Legierung) hergestellt. Der Platzhalter wird nach dem Gießen durch ein spezielles Verfahren nahezu rückstandsfrei entfernt. Das Grundprinzip des Verfahrens ist in Abbildung 1 in schematischer Form dargestellt. Demnach sind folgende drei Schritte zu vollziehen:

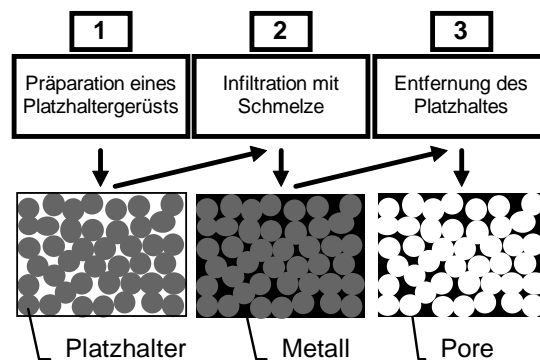


Abbildung 1: Verfahren zur Herstellung offenporiger metallischer Strukturen: Prinzipdarstellung

1. Präparation des Platzhaltergerüsts: hierbei werden bevorzugt anorganische Granulen verwendet, organische Materialien können aber auch zum Einsatz kommen.
2. Infiltration der Platzhaltergerüsts mit Metall: um eine weitgehende Füllung auch der Interstitien zwischen den Granulen zu sichern ist hierzu die Infiltration bei erhöhtem Druck vorzunehmen, im vorliegenden Fall in einer Druckgußmaschine.
3. Entfernung des Platzhaltermaterials durch Lösung oder Austreibung.

Das Verfahren weist folgende Merkmale auf:

- preiswert: sowohl Platzhalter als auch metallischer Ausgangswerkstoff sind billig,
- umweltfreundlich: bei sorgfältiger Auswahl der Platzhalter keine umweltbedenklichen Crack- bzw. Lösungsprodukte. Bei Verwendung organischer Platzhalter ist allerdings eine Aufbereitung der ausgetriebenen Platzhalter vorzunehmen,
- recyklierbar: das Material kann wie herkömmliche Gußteile recykliert werden,
- Verbundstrukturen: beim Gießen können poröser Werkstoff und porenfreie Teile in einem Schritt und mit stoffschlüssigem Verbund hergestellt werden (siehe auch Abbildung 8),
- endformnahe Formgebung ist möglich.

Die Porenstruktur einiger der nach dem beschriebenen Verfahren hergestellten Schäume ist in Abbildung 2 zu sehen.

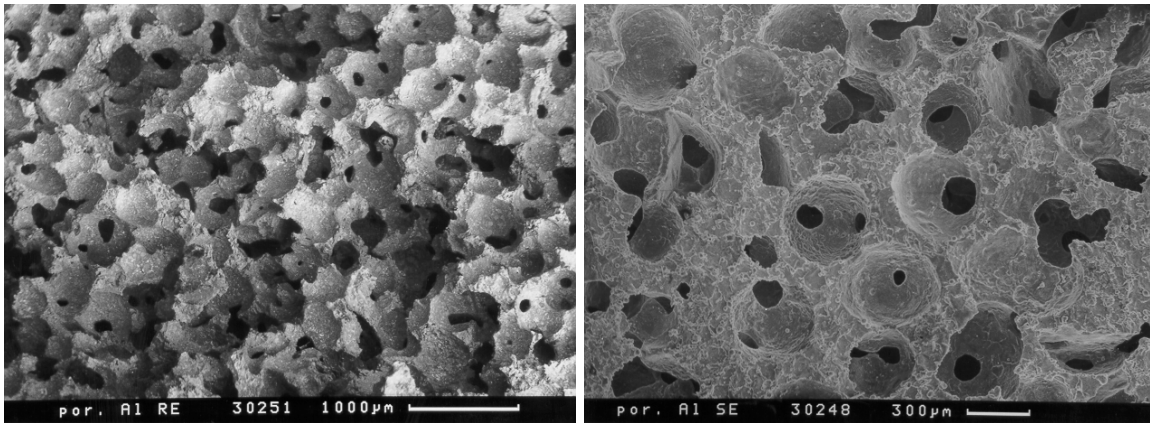


Abbildung 2: Porenstruktur der offenporigen Aluminiumschäume. Links: Bruchfläche, rechts: Schnittfläche

Daß die Materialien in der Tat offenporig sind, erkennt man in Abbildung 3. Zur Vervollständigung der Vision der Durchgängigkeit sollte man allerdings berücksichtigen, daß nur eine Schnittebene zu sehen ist, es sich in Wirklichkeit aber um ein dreidimensionales Netzwerk von Kanälen handelt.

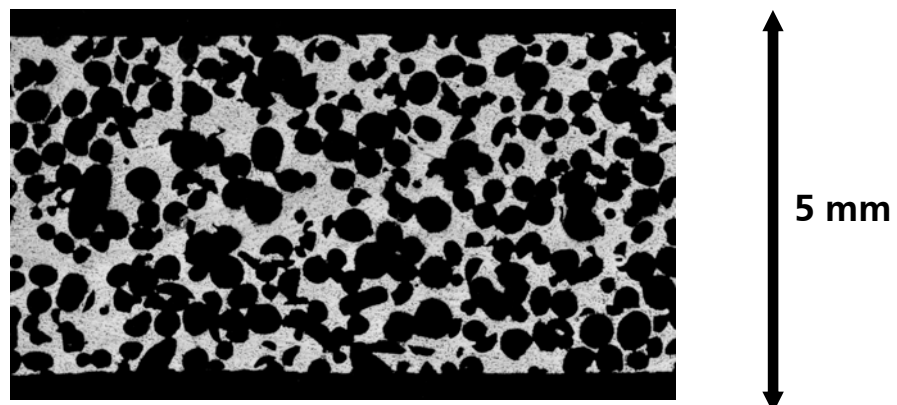


Abbildung 3: Porenstruktur eines feinporigen Aluminiumschaumes. Queransicht einer 5 mm dicken Platte.

Die Porengrößenverteilung eines offenporigen Aluminiumwerkstoffes kann in bestimmten Grenzen durch die Auswahl des Platzhaltergerüsts variiert werden. Einige Beispiele sind in Abbildung 4 gezeigt.



Abbildung 4: Offenporige Aluminiumschäume mit verschiedenen Porenfeinheiten. Durchmesser der gezeigten Scheiben: 100 mm, Dicke: 10 mm

Im strengen Sinne sind die gezeigten Werkstoffe keine Schäume bzw. Schaumstoffe, da sie nicht aus einer feine Verteilung von Gasblasen in einer Flüssigkeit entstanden sind. Der Begriff „Schwamm“ wäre eigentlich exakter, jedoch hat sich der etwas unscharfe Gebrauch des Wortes „Schaum“ auch für die in der vorliegenden Arbeit behandelten Strukturen eingebürgert.

3. Einige Eigenschaften der offenporigen Werkstoffe

3.1. Dichte

Die Dichte der offenporigen Aluminiumschäume liegt gewöhnlich im Bereich von 0.9 bis 1.2 g/cm³, was einem Porenanteil von 55 bis 67% entspricht. Für andere Metalle ist mit ähnlichen Porositäten zu rechnen.

3.2. Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften der offenporigen Aluminiumwerkstoffe sind bislang nicht so intensiv untersucht worden, wie die der geschlossenenporigen Schäume [3,7]. Eine erste Vorstellung vom mechanischen Verhalten vermittelt der in Abbildung 5 dargestellte uniaxiale Druckversuch. Man erkennt ein Verhalten, das dem der geschlossenenporigen Schäume sehr nahe kommt: ein anfänglicher, fast linearer Anstieg der Spannung wird von einem Bereich starker plastischer Verformung abgelöst und mündet bei sehr starken Verformungen in eine Verdichtung der gesamten Struktur bei entsprechend hohen Kräften.

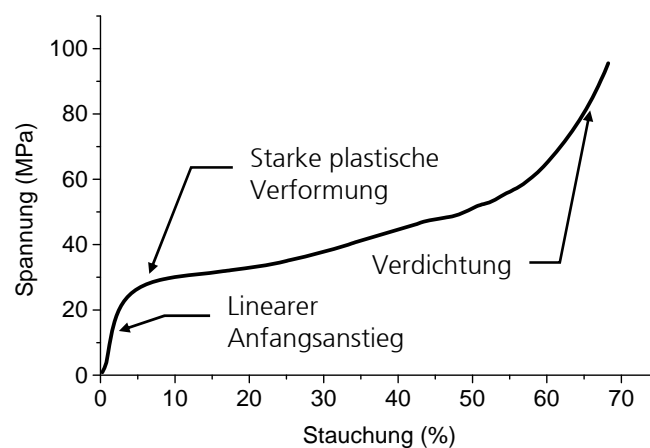


Abbildung 5: Druckversuch an einem offenporigen Aluminiumschaum der Dichte 1.18 g/cm³

Man erkennt, daß relativ hohe Kräfte benötigt werden, um den Schaum zu verformen. Es handelt sich also um eine sehr harte Struktur. Die Druckfestigkeiten sind dabei etwa gleich denen von geschlossenenporigen Schäumen gleicher Dichte.

3.3. Durchströmbarkeit

Für viele Anwendungen ist eine kontrollierte und einstellbare Durchströmbarkeit des offenporigen Werkstoffs durch Gase oder Flüssigkeiten gewünscht. Die Durchströmbarkeit wird so charakterisiert, daß man den Druckabfall Δp an einer Probe vorgegebenen konstanten Querschnitts und Länge L als Funktion des durch die Probe hindurchtretenden Volumenstroms des Gases oder der Flüssigkeit mißt, der proportional zur Strömungsgeschwindigkeit v ist. Unter idealen Bedingungen laminarer Strömung ist dieser Zusammenhang linear, d.h. es gilt Darcy's Gesetz $\Delta p \propto dV/dt \propto v$, unter allgemeinen Bedingungen kommt mindestens noch ein quadratischer Term $(dV/dt)^2$ dazu, der den Einfluß der Turbulenz beschreibt. Die in Abbildung 6 gezeigten, an vier Proben mit verschiedenen Porengrößen (entsprechend vier der in Abbildung 4 abgebildeten Proben) gemessenen Kurven stellen diesen Zusammenhang sehr deutlich dar. Man sieht auch, daß über die Wahl der mittleren Zellgröße eine Einflußmöglichkeit auf die Durchströmbarkeit gegeben ist und daß die Durchsatzmengen recht groß sind. Die gestrichelten Linien in Abbildung 4 sind Fits der Form $\Delta p/L = (\eta/\alpha)v + (\rho/\beta)v^2$ an die Daten, wobei η die dynamische Viskosität von Luft und ρ ihre Dichte ist. Die resultierenden Filterparameter α (laminare Permeabilität) und β (turbulente Permeabilität) rangieren in diesen Fällen im Bereich $\alpha = 4 \cdot 10^{-12} - 10^{-10} \text{ m}^2$ und $\beta = 8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$, was den Werten gesinterter Bronzefilter sehr nahe kommt.

3.4. Innere Oberfläche

Die innere Oberfläche einiger Aluminiumproben wurde mittels der volumetrischen Mehrpunkt-BET nach DIN 66131 bestimmt. Es ergaben sich bei Dichten um 1.1 g/cm^3 Werte von $1-2 \text{ m}^2/\text{g}$.

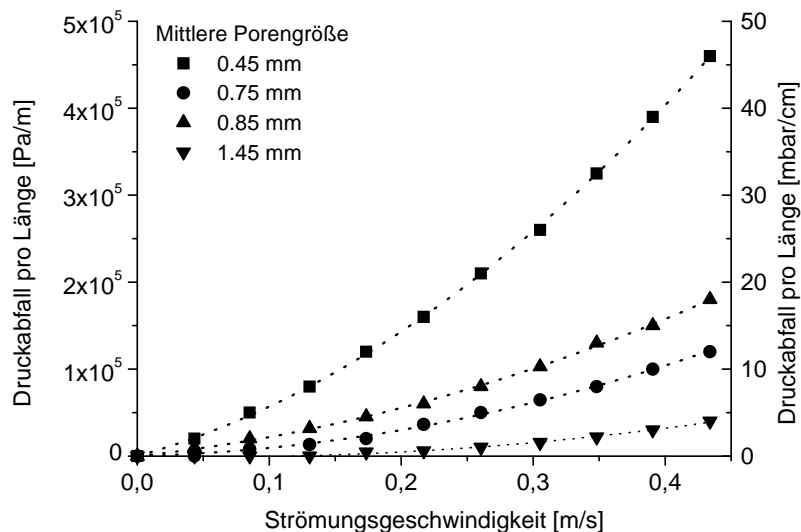


Abbildung 6: Durchströmungskurven einiger Aluminiumschäume. Aufgetragen ist der Druckabfall Δp bezogen auf die Probenlänge L gegen die Strömungsgeschwindigkeit v .

3.5. Akustische Eigenschaften

Für Schallabsorber werden häufig poröse Materialien eingesetzt. Deshalb lag es nahe, die offenporigen Aluminiumwerkstoffe in Hinsicht auf diese Eigenschaft zu untersuchen. Der Schallabsorptionsgrad verschiedener offenporiger Aluminiumschäume wurde im Kundt'schen Rohr gemessen. Dabei kamen für die niedrigen Frequenzen Scheiben mit 10 mm Dicke und 100 mm Durchmesser, für Frequenzen ab 1 kHz gleich dicke Scheiben mit 30 mm Durchmesser zum Einsatz (siehe Abbildung 4). Ein Beispiel für eine Messung ist in Abbildung 7 gezeigt. Man erkennt eine ausgeprägte Schallabsorption bis 95% im Bereich von 4 kHz, niedrigere Werte für andere Frequenzen. Diese Werte sind deutlich niedriger als die spezieller Schallabsorptionsmaterialien, man darf aber nicht vergessen, daß es sich um eine Metallstruktur mit anderen nützlichen Eigenschaften handelt, die auch andere Funktionen übernehmen könnte.

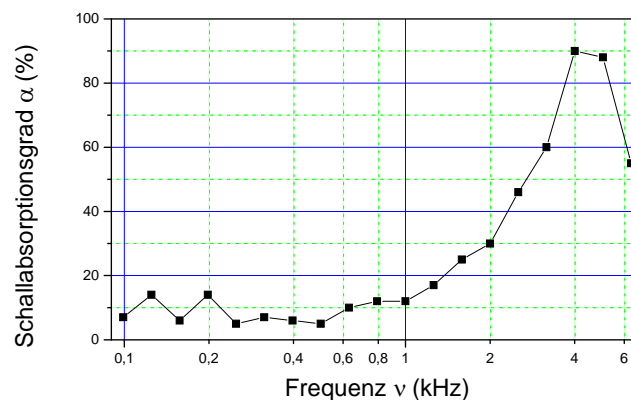


Abbildung 7: Schallabsorptionsgrad eines offenporigen Aluminiumschaumes

4. Anwendungsmöglichkeiten

Poröse Metalle, z.B. Sinterbronzen, werden seit langem angewandt. Das Studium der Anwendungsgebiete dieser Materialien [8-10] sowie auch nichtmetallischer poröser Werkstoffe liefert Hinweise auf eine Anwendbarkeit offenporöser Metallschäume. Im folgenden sollen einige dieser Anwendungsideen skizzenhaft vorgestellt werden.

4.1. Schalldämpfer

Das offenporige Aluminiummaterial kann zur Konstruktion von Schalldämpfern verwendet werden, bei denen die durch die Dekompression von Gas entstehenden Geräusche (z.B. in pneumatischen Anlagen oder Kompressoren) reduziert werden. Herkömmliche Schalldämpferelemente werden oft aus lose gesinterten Bronze- oder Stahlpulvern gefertigt, die recht kostenintensiv sind. Abbildung 8 zeigt, wie aus Aluminiumschaum gefertigte Elemente aufgebaut sein können.



Abbildung 8: Komponenten eines Schalldämpfers aus offenporigem Aluminiumschaum. Bis auf das liegende Rohr sind alle Elemente einseitig geschlossen.

Hier sind Aluminiumschaumelemente mit integriertem oder aufgeschraubtem Gewinde zu sehen, die auf den Gasauslaß aufgeschraubt werden können. Als Vorteil des Gießverfahrens erweist sich, daß ein Verbund zwischen massivem Metall und Schaum problemlos realisiert werden kann. Erste technische Prüfungen haben ergeben, daß die mit herkömmlichen Sinterbronzen erreichbaren Schalldämpfungswerte mindestens erreicht werden.

4.2. Filter

Das Feld der Anwendungen für Filterwerkstoffe ist weit. Offenporige Metalle können Flüssigkeiten trennen, feste Partikel aus einer Flüssigkeit abscheiden oder feste Partikel wie z.B. Ruß aus Gasen herausfiltrieren. Die offenen Poreninnerenräume wirken im Fall von Feststoffen als Depot.

4.3 Katalysatorträger

Aufgrund der hohen inneren Oberfläche in Kombination mit der guten Durchströmbarkeit könnten sich offenporige Metallschäume als Trägergerüst für Katalysatoren eignen. Die hohe Wärmeleitfähigkeit des Materials wäre bei stark exothermen Reaktionen, z.B. bei der Oxidation von Ethylen zu Ethylenoxid von Bedeutung.

4.4. Wärmetauscher

Bei Verwendung von Aluminium oder Kupfer als Grundmaterial offenporiger Metallwerkstoffe ermöglicht die hohe Wärmeleitfähigkeit einen Einsatz solcher Schäume zum Heizen oder Kühlen gasförmiger oder flüssiger Medien oder zum Wärmetausch zwischen zwei Flüssigkeiten, zwei Gasen oder zwischen einer Flüssigkeit und einem Gas. Das den Schaum durchströmende Medium gibt Wärme an die Metallmatrix ab oder nimmt sie auf. Vom Metall wird die Wärme dann auf das zweite Medium übertragen

oder in ein Reservoir abgeleitet. Poröse Metalle können auch gut zur Transpirationskühlung eingesetzt werden.

4.5. Weitere Anwendungsgebiete

Offenporige Werkstoffe werden zur Druckreduktion eingesetzt. Werden die Poren mit Schmierstoff gefüllt, erhält man Gleitlager. Die Poren können auch als Depotvolumen benutzt werden, um dosiert Flüssigkeiten abzugeben, z.B. über eine poröse Walze. Beaufschlagt man poröse Werkstoffe mit Gas, kann man dieses feinverteilt in Flüssigkeiten einperlen lassen oder auch mit einem Luftkissen eine Gleitoberfläche erzeugen (Luftlager). Schließlich können metallische, offenporöse Werkstoffe aufgrund ihrer Wärmeleitfähigkeit auch als Flammensperren benutzt werden.

5. Zusammenfassung

Neuartige offenporige Aluminiumschäume bieten interessante Perspektiven für viele Anwendungsfelder, die von den schon länger verfügbaren geschlossenporigen Schäumen nicht vollständig abgedeckt werden. Sie bieten auch interessante wirtschaftliche und technologische Alternativen zu konventionellen Sinterprodukten.

Literaturverzeichnis

- [1] J. Banhart, J. Baumeister: *Production methods for metallic foams*, MRS Conf. Proc. Vol. **521**, Hrsg.: D. Schwartz et al. (1998), S. 121
- [2] J. Banhart, J. Baumeister, M. Weber, *Metallschaum - Werkstoff mit Perspektiven*, Aluminium **70**, 209 (1994)
- [3] J. Banhart (Hrsg.): *Metallschäume*, Tagungsband des Symposiums Metallschäume, MIT-Verlag Bremen (1997), ISBN 3-980574806
- [4] SEAC B.V. Krimpen (NL), Produktdatenblatt und <http://www.seac.nl> (1999)
- [5] ERG Inc., Oakland (USA), Produktdatenblatt und <http://www.ergaerospace.com> (1999)
- [6] W. Thiele, *Metals and Materials* **6**, 349 (1972)
- [7] J. Banhart, J. Baumeister, *Das Verformungsverhalten geschäumter Metalle*, Metall **51**, 19 (1997)
- [8] W.R. Johnson, M. Shenuski, *Controlling fluids with porous metals*, Machine Design, Jan. 1987, S. 89
- [9] M. Eisenmann, in „ASM Handbook Vol. 7, *Metal Powder Technologies and Applications*“, ASM International, Materials Park (USA), S. 1031
- [10] V.A. Tracey, *Porous Materials: Current and Future Trends*, Int. J. Powder Met. And Powder Technol., **12**, 35 (1976)

Dr. John Banhart

Studium der Physik in München; Promotion in Physikalischer Chemie in München und Wien (1989); seit 1991 am Fraunhofer-Institut in Bremen, Arbeitsgebiete: Zellulare Metalle, Sprühkompaktieren, Magnetismus; Habilitation an der Universität Bremen (1998)