



Innovative Bauweisen

Aluminiumschaum für den Fahrzeugbau

J. Banhart¹, J. Baumeister¹, A. Melzer¹, W. Seeliger², M. Weber¹

Metallschaum als Werkstoff für innovative Anwendungen im Fahrzeugbau wurde in den letzten Jahren von Industrie und Forschungsinstituten intensiv evaluiert. Besonders Verbundlösungen – bestehend aus Aluminiumschaum und konventionellen Profilen oder Blechen aus Stahl oder Aluminium – versprechen hier interessante Anwendungsfelder. Die Möglichkeiten zur Herstellung solcher Verbunde werden diskutiert. Als Grundlage dient ein Verfahren zur Herstellung von Aluminiumschaum auf Basis von pulverförmigen Ausgangsmaterialien. Hierbei werden Metallpulver mit Treibmitteln gemischt, zu einem kompakten Vorprodukt verpresst und anschließend in einem Wärmebehandlungsprozeß aufgeschäumt. Als Beispiel für den Einsatz eines Aluminiumschaum-Aluminium-Sandwiches wird ein Teil vorgestellt, das die aus konventionellem Stahlblech gefertigte Rückwand im Fahrzeug ersetzen soll und dabei bei reduziertem Gewicht eine erheblich höhere Steifigkeit aufweist.

In den letzten Jahren hat das Interesse an Metallschäumen insbesondere aus Aluminium und Aluminiumlegierungen deutlich zugenommen. Das liegt zum einen an neuen Verfahrensentwicklungen, die eine höhere Qualität des geschäumten Metalls versprechen als auch an geänderten Rahmenbedingungen hinsichtlich der Anwendung von Werkstoffen. Erhöhte Anforderungen werden heute beispielsweise an die Passagiersicherheit in Personenkraftwagen oder an das Materialrecycling gestellt, wo von Metallschäumen eine Verbesserung erwartet wird.

Ein Grund für den momentan geringen Bekanntheitsgrad der Metallschäume ist sicherlich in der Art der in der Vergangenheit zur Verfügung stehenden Herstellungsverfahren zu sehen, die aufwendig und damit teuer waren, durchweg schwierig zu kontrollieren sind und somit zu nur mäßig reproduzierbaren Ergebnissen führten. Durch Weiter- bzw. Neuentwicklung von Verfahren in den letzten 10 Jahren stehen heute schmelz- und pulvermetallurgische Methoden zur Verfügung, die diese Einschränkungen aufheben [1–3]. Insbesondere ein am Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen entwickeltes und patentiertes pulvermetallurgisches Verfahren erlaubt eine verhältnismäßig einfache Herstellung geschäumter Metalle auf der Basis von Aluminium und Aluminiumlegierungen, sowie einer Reihe weiterer gebräuchlicher Metalle [4, 5].

Die Anwendungsmöglichkeiten für Metallschäume sind vielfältig [6]. Als besonders aussichtsreich im Bereich Fahrzeugtechnik haben sich hier neben dem Leichtbau oder der akustischen und thermischen Dämmung Energieabsorptionsanwendungen herausgestellt, bei denen die große Festigkeit geschäumter Metalle kombiniert mit ihrem von der porösen Struktur verursachten, stark nichtlinearen Verformungsverhalten ausnutzt werden. Im Bereich Leichtbau ist mit der Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung auch

größerer, dreidimensional geformter Sandwichstrukturen aus massiven Deckblechen und einem porösen Al-Schaum-Kern [5] die Anwendung im Fahrzeug nähergerückt.

1 Herstellung von Metallschaum

1.1 Verfahrensprinzip

Das pulvermetallurgische Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen ist in Abb. 1 verdeutlicht: Der pulverförmige metallische Ausgangswerkstoff wird intensiv mit einem Treibmittel (z. B. Titanhydrid) gemischt. Die so erhaltene Mischung wird unter kontrollierten Bedingungen zu einem Halbzeug verdichtet und gegebenenfalls durch eine Umformung weiterverarbeitet. Die Verdichtung geschieht typischerweise durch axiales Heißpressen oder durch Extrusion. Das resultierende Material ist äußerlich nicht

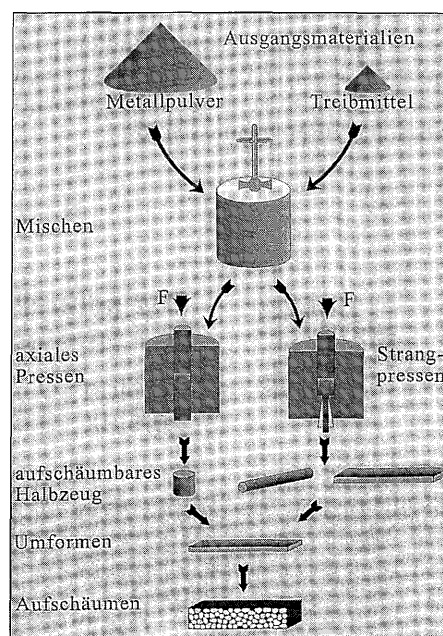


Abb. 1: Herstellung von Metallschaum nach dem pulvermetallurgischen IFAM-Verfahren [4–6]

¹ Dr. John Banhart, J. Baumeister, A. Melzer und M. Weber, Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung

² W. Seeliger, W. Karmann GmbH, Osnabrück

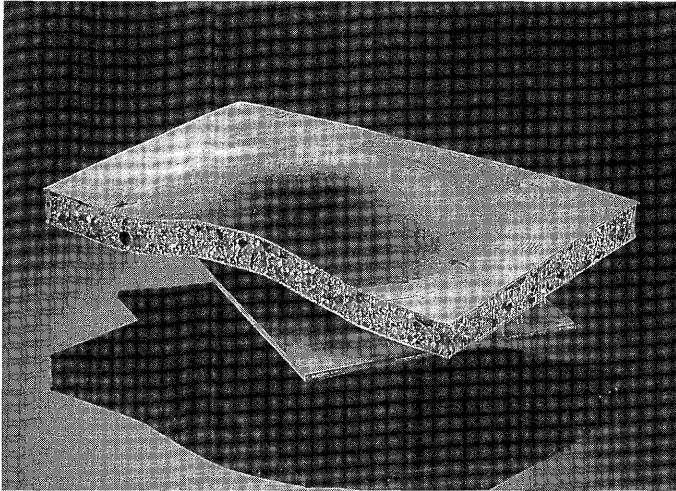


Abb. 2:
Sandwichstruktur aus
Aluminiumschaum und
Stahldeckblechen

von konventionellem Metall zu unterscheiden, birgt aber das Treibmittel in seiner metallischen Matrix: es ist aufschäumbar. Durch Erwärmung des Halbzeugs bis knapp über seinen Schmelzpunkt wird das Metall geschmolzen und die Gasfreisetzung des Treibmittels und somit der eigentliche Aufschäumvorgang ausgelöst. Richtige Prozessparameter vorausgesetzt expandiert die Schmelze und entwickelt eine halbflüssige, schaumige Konsistenz. Nachdem die Expansion bis zum gewünschten Grad erfolgt ist, wird der Schäumvorgang durch Abkühlung unter den Schmelzpunkt beendet und so die Schaumstruktur stabilisiert. Man erhält einen hochporösen Werkstoff mit gleichmäßiger Porenstruktur.

Am IFAM wurde das Verfahren bisher für Aluminium, diverse Aluminiumlegierungen, Zink, Zinn, Bronze, Messing und Blei mit Erfolg erprobt und die Prozessparameter für spezielle Anwendungen optimiert, wobei Aluminium und seine Legierungen jedoch aufgrund des breiteren Anwendungsspektrums bisher im Vordergrund des Interesses stehen. Übliche Legierungen für das Schäumen sind Reinaluminium, 2XXX- und 6XXX Legierungen. Auch Gußlegierungen wie AlSi12 werden häufig geschäumt, da sie einen niedrigen Schmelzpunkt und günstige Schäumeigenschaften aufweisen. Im Prinzip kann jedoch nahezu jede Legierung geschäumt werden, wenn einmal die Kompaktier- und Schäumparameter bestimmt worden sind.

Der nach dem pulvermetallurgischen Verfahren hergestellte Metallschaum ist in erster Näherung geschlossenporig. Die innere Porenstruktur wird erst dann offenkundig, wenn man ein Schaumteil trennt. In Abb. 2 ist die Porenstruktur des Schaumes an der angeschnittenen Seite eines Bauteils zu erkennen.

1.2. Bauteile aus Aluminiumschaum

Wird das aufschäumbare Halbzeug in einer Hohlform aus Stahlblech aufgeschäumt, so füllt der expandierende Schaum den Hohlraum völlig aus. Auf diese Weise können leicht Formteile aus Metallschaum hergestellt werden. Die Außenhaut der Schaumteile ist in diesen Fällen geschlossen. Aufgrund der geringen Dichten, die bei Aluminiumschäumen meist zwischen 0,3 und 0,8 g/cm³ liegen, schwimmen die Schaumkörper auf Wasser. Dünne Bleche aus aufschäumbarem Halbzeug können zu Flachmaterial aufgeschäumt werden. Werden diese mit konventionellen Aluminiumblechen beklebt, entstehen Sandwich-Verbundstrukturen.

Nach einer Verfahrensmodifikation [5] können Verbundstrukturen aus Aluminiumschaum und massiven Metallprofilen oder -blechen auch ohne Klebstoffe mit einer rein metallischen Bindung hergestellt werden, was aufgrund der mangelnden Temperaturbeständigkeit geklebter Verbindungen und der höheren Steifigkeit metallischer Verbindungen von Vorteil ist. Hierzu wird durch Walzplattieren ein metallischer Verbund aus zwei Metallblechen (z. B. Aluminium oder Stahl) und einem Blech aufschäumbaren Aluminiums hergestellt. Der Verbund wird gegebenenfalls z. B. durch Tiefziehen in die gewünschte Form gebracht und dann aufgeschäumt (Abb. 2). Es bildet sich eine poröse Kernlage, die von zwei massiv gebliebenen Deckschichten belegt ist. Bei der Verwendung von Aluminiumdeckblechen muß darauf geachtet werden, daß die Deckschichten beim Schäumen nicht schmelzen, was durch die Verwendung verschiedener Aluminiumlegierungen für Kern und Decklagen erreicht werden kann.

2 Anwendungsmöglichkeiten im Automobilbau

Der Großteil der Anwendungsideen für Metallschaum im KFZ läßt sich in 3 Anwendungsfelder unterteilen (Abb. 3): Leichtbau-, Energieabsorptions- und Dämmungs- bzw. Isolationsanwendungen. Daneben gibt es noch weitere Anwendungsideen, wie z. B. die Verwendung von Bleischäumen als Leichtbauelektroden in Blei-Säure Akkumulatoren, auf die im vorliegenden Artikel jedoch nicht eingegangen werden soll.

2.1 Leichtbauanwendungen

Zur ersten Gruppe gehören Anwendungen, bei denen der Schaum in erster Linie reversibel elastisch verformt wird und das günstige Verhältnis von Steifigkeit zu Masse zum Tragen kommt. Daß dieses Verhältnis so günstig ist kann man sehen, wenn man ein massives Blech mit einem aufgeschäumten Blech gleicher Masse aber unterschiedlicher Höhe h vergleicht: die Steifigkeit eines beliebigen Bleches ist proportional zu $E \cdot h^3$, wobei der E-Modul des Schaumes näherungsweise proportional zu ρ^2 ist (ρ = Dichte). Da beim Aufschäumen die Dichte mit h abnimmt, ist die gesamte Steifigkeit proportional zu h . Typischerweise erzielt man bei Aluminium Aufschäumfaktoren zwischen 4 und 5, so daß die Steifigkeit von Aluminiumschaumblechen im Vergleich zu nicht aufgeschäumten Blechen bei gleichem Gewicht um diesen Faktor höher ist.

Diese Eigenschaft legt einen Einsatz großflächiger Schaumbauteile nahe, bei denen die Anforderungen an die Steifigkeit hoch sind. Beispiele dafür sind Komponenten der Bodengruppe im Kraftfahrzeug, Trennwände (vorne und hinten), Motorhauben, Kofferraumdeckel, Schiebedächer und Sitzschalen, im Nutzfahrzeugsbereich auch Aufbauten aller Art.

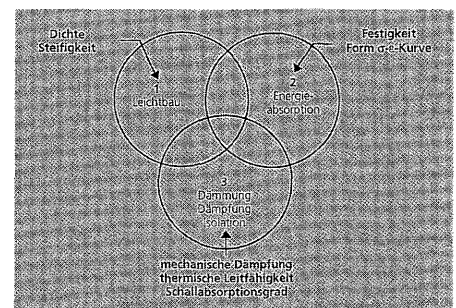


Abb. 3: Anwendungsfelder des Metallschaumes im KFZ. Fettgedruckt sind die Eigenschaften, die für das jeweilige Anwendungsfeld relevant sind.

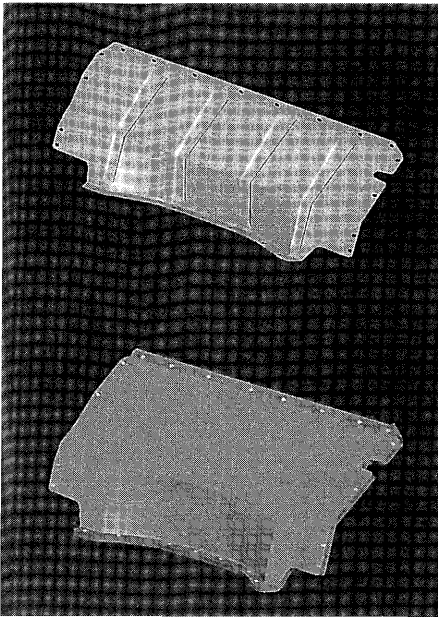


Abb. 4: Stahlblechteil (oben) und Aluminiumschaum-Sandwich (unten)

Diese Teile sollen sich unter dem Einfluß von statischen oder Schwingungslasten etwa durch den Fahrtwind nicht elastisch verformen oder gar anfangen zu vibrieren. Die skizzierten Gedanken zum Leichtbau mit Aluminiumschäumen wurden von Fa. Karmann (Osnabrück) aufgegriffen und in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM und einigen weiteren Firmen großflächige, dreidimensional geformte Aluminium-Aluminiumschaum-Sandwiche entwickelt [7, 8]. Die entwickelten Teile – die vordere Aggregattrennwand und die Rückwand – wurden in einem Showcar auf der Detroit Motorshow im Januar 1998 erstmalig präsentiert.

In Abb. 4 ist ein solches Aluminiumschaum-Sandwich und zum Vergleich das momentan verwendete Bauteil gezeigt, bei dem es sich um ein mit Sicken versehenes Stahlblech handelt. Das Aluminiumschaum-Sandwich weist nahezu die gesamte Fahrzeugbreite auf und ist zwischen 8 und 12 mm dick, wobei auf die Außenhäute jeweils ca. 1 mm entfallen. Die Anwendungsidee ist hier, das Stahlblechteil durch ein Aluminiumschaum-Sandwich zu ersetzen, um die Steifigkeit des Bauteils bei gleichzeitigem Gewichtsersparnis zu erhöhen. Das entwickelte Teil ist nun tatsächlich um 25 % leichter als das konventionelle Stahlteil. Seine Steifigkeit wurde in einer Finite-Elemente-Simulation von Karmann berechnet. Stahlteil und Aluminiumschaum-Sandwich werden dabei einer simulierten Torsionsbelastung ausgesetzt und die resultierende Verformung und Spannungsverteilung berechnet. Man erhält eine um

einen Faktor 8 niedrigere Torsionsverformung beim Aluminiumschaum-Sandwich bei gleichzeitig reduzierten und wesentlich gleichmäßiger verteilten Spannungen im Bauteil [8].

Die erhöhte Steifigkeit eines Schaumes im Vergleich mit einem Blech gleichen Gewichts rührt wie schon erwähnt von der bekannten Abhängigkeit des Flächenträgheitsmoments J von der Höhe h her: $J \propto h^3$. Aluminiumschäume in Plattenform mit Dichten von $\rho = 0.6 \text{ g/cm}^3$ (E-Modul 3.5GPa) sind demnach ca. 4.5 mal steifer als ein Aluminiumblech und ca. 36 mal steifer als ein Stahlblech gleichen Gewichts. Diese Beziehung gilt natürlich nur für ebene Teile und den homogenen Schaum. Für kompliziertere Formen erhält man modifizierte Steifigkeitserhöhungen. Man könnte natürlich auch aus Blechen wesentlich steifere Strukturen, wie beispielsweise Honigwabenstrukturen aufbauen oder die im Flugzeugbau üblichen Blech-Stringer-Konstruktionen verwenden, um in Hinsicht auf Steifigkeit den Aluminiumschaum zu erreichen oder zu übertreffen. Jedoch sind solche Möglichkeiten in Anbetracht der Formgebungsvarianten, des Preises und anderer Randbedingungen beschränkt, so daß sie in den Automobilbau keinen Eingang gefunden haben. Das entwickelte Aluminiumschaum-Sandwich ist dagegen nach den momentan vorliegenden Kostenanalysen zwar etwas teurer als das konventionelle Stahlteil, was aber durch den Gewichtsvorteil und den Steifigkeitsgewinn mehr als ausgeglichen werden kann.

2.2 Energieabsorption

Zur zweiten Gruppe gehören diejenigen Anwendungen, bei denen der Schaum plastisch und irreversibel verformt wird. Schäume sind aufgrund Ihrer typischen Spannungs-Stauchungs-Charakteristik gute Energieabsorber. Diese ist durch ein

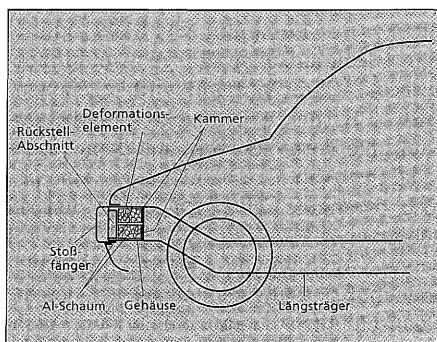


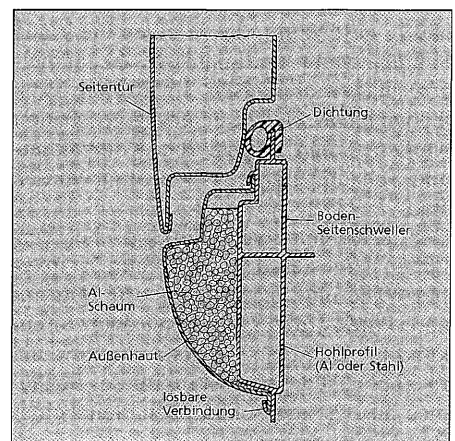
Abb. 5: Anwendungsideen für Aluminiumschaum zur Energieabsorption im KFZ: oben: Energieabsorber im Frontbereich [12]; rechts: Energieabsorber für Seitencrashes [13]

langes, nahezu horizontales Spannungs-plateau geprägt, das die Aufnahme großer Energiemengen bei vorgegebener Höchstspannung erlaubt. Durch verschiedene Maßnahmen läßt sich das Spannungsplateau bei Metallschäumen verbessern und so eine Optimierung der Aluminiumschäume durchführen [9].

Die guten Energieabsorptionseigenschaften von Aluminiumschaum könnten beim Einsatz als Front- oder Seitenaufprallschutz ausgenutzt werden. Aluminiumschaumabsorber stehen auf diesem Felde in Konkurrenz mit konventionellen Absorbieren. So werden für den Frontaufprall beispielsweise mechanische Deformationselemente oder hydraulische Energieabsorber verwendet, die jedoch verschiedene Nachteile wie mangelnde Wirksamkeit bei seitlichem Aufprall oder zu hohes Gewicht aufweisen.

In Abb. 5 sind aus der Patentliteratur zwei Anwendungsideen wiedergegeben, die einen möglichen Einsatz von Aluminiumschäumen in zwei Fällen verdeutlichen. Im einen Fall wird beim Frontaufprall ein Teil der Energie von Deformationselementen aufgenommen, die Al-Schäume enthalten, bevor sie auf den Längsträger wirken kann. Im anderen Fall wird der Türschwellerbereich durch Aluminiumschäume verstärkt, so daß bei Seitencrashes zumindest ein Teil der Energie im Aluminiumschaum vernichtet wird.

Eine interessante Eigenschaft von Aluminiumschaum ist, daß das Knick- und Stauchverhalten von Aluminiumschaum nachhaltig beeinflusst wird, wenn diese mit einem Kern aus diesem Schaum gefüllt werden [9–11]. Besonders bei axialer Beanspruchung schaumgefüllter Profile wurde beobachtet, daß wesentlich mehr Energie aufgenommen wird, als man von der Addition der Energieaufnahmen der leeren Profile und der bloßen Schäume her erwarten würde und daß der Bereich der Energieabsorption bei konstanter Span-



nung ausgedehnt wird. Das bietet einen Einsatz zur Verstärkung von Stoßstangen, Unterfahrschutzelementen von Lastwagen, KFZ-Konstruktionselementen wie der B-Säule oder anderen knick- oder stauchgefährdeten Hohlteilen an.

Bei der Entwicklung optimierter Energieabsorber für Kraftfahrzeuge gibt es u. a. folgende generelle Ziele:

- das Gewicht der Konstruktion soll geringer sein (höhere massenspezifische Absorption)
- höhere Energieabsorptionskapazität pro Länge oder Volumen
- bessere Energieabsorptionscharakteristik, d. h. Annäherung an den rechteckigen Spannungs-Stauchungs-Verlauf
- weitere Vorteile wie z. B. gute Wirksamkeit bei Offset-Stößen dadurch, daß der Schaum ein nahezu isotropes Energieabsorptionsverhalten aufweist.

Ansätze zur Realisierung solcher Absorber umfassen sowohl Verbundteile Al-Schaum/Aluminium [9], Al-Schaum/Stahl [10], als auch Verbundteile Al-Schaum/CFK bzw. GFK [11].

2.3 Dämmung und Isolation

Zur dritten Gruppe gehören Anwendungen, die das Dämpfungsverhalten [14] von Aluminiumschäumen (ca. zehnmal größere Dämpfung als entsprechende massive Teile), das akustische Absorptionsvermögen (stark von der Porenstruktur abhängig) oder die reduzierte Wärmeleitfähigkeit von Schäumen ausnutzen. Es sind Kombinationen dieser Eigenschaften denkbar wie z. B. Wärme und Schall dämmende Panele, oder auch Kombinationen

von Dämmungs- mit Leichtbau- oder Energieabsorptionsfunktionen. Hier ist die Entwicklung noch nicht eindeutig zu beurteilen, da keine der Eigenschaften „Dämpfung“, „Wärmeisolation“ und „Schallabsorption“ bei den Aluminiumschäumen wirklich herausragend ist. Die Entwicklung ist hier jedoch noch im Gange und es kann mit einer besseren Schallabsorption gerechnet werden, sobald eine kontrollierte offene Porosität reproduzierbar eingestellt werden kann [15].

3 Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz von Aluminiumschaum im Kraftfahrzeug befindet sich momentan im Stadium intensiver Evaluierung. Die bekannten Eigenschaften der Aluminiumschäume sowie erst kürzlich entwickelte Möglichkeiten der Bauteilherstellung, wie z. B. die der Herstellung großformatiger, kompliziert geformter Sandwichstrukturen, eröffnen Optionen im Bereich des Leichtbaus, der Energieabsorption sowie u. U. auch der Dämm- und Isolier-technik. Wie bei jeder neuen Werkstoffklasse wird eine Einführung des Schaummaterials erst in relativ kleinen Marktsegmenten stattfinden, um sich bei Bewährung und auch im Zuge sinkender Preise auch in größerem Umfang zu etablieren. Bei der Suche nach Anwendungen ist generell anzustreben, möglichst viele der Eigenschaften der Aluminiumschäume nutzbringend einzusetzen, da insbesondere so eine Akzeptanz des gegenüber etablierten Werkstoffen zunächst höheren Preises zu erwarten ist.

Literatur

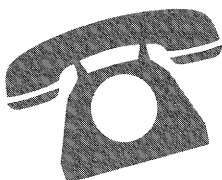
- [1] Ruch W.W., Kirkevåg B.: A process of manufacturing particle reinforced foam and product thereof, Patent Application PCT/WO 91/01387 (1991)
- [2] Jin I., Kenny L.D., Sang H., Method of producing lightweight foamed metal, US Patent 4 973 358 (1990)
- [3] Banhart J. (Hrsg.): Metallschäume, Tagungsband des Symposiums Metallschäume 6.-7.3.1997, Bremen, MIT-Verlag Bremen (1997)
- [4] Baumeister J.: Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper, Patent DE 40 18 360 (1991)
- [5] Baumeister J., Banhart J., Weber M.: Metallischer Verbundwerkstoff und Verfahren zu seiner Herstellung DE 43 25 539.6 (1997)
- [6] Banhart J., Baumeister J., Weber M.: Metallschaum, Aluminium, 70, 209 (1994)
- [7] Seeliger H.W.: Simulation von Crashabsorbern aus Aluminiumschaum, in [3], S. 217
- [8] Seeliger H.W.: Complex Shaped Aluminium Foam Sandwich Panels for Automotive Applications, Proc. Symp. Metal Foams, Stanton 7.-8. 10. 1997, MIT-Verlag Bremen (1998) S. 79
- [9] Banhart J., Baumeister J.: Das Verformungsverhalten geschäumter Metalle, Metall 51, 19 (1997)
- [10] Seitzberger M., Rammerstorfer F.G., Degischer H.P., Gradinger R., in [3], S. 137
- [11] Pannkoke, K. et al.: Crash behaviour of lightweight structure materials – deep drawing sheet materials and simple metallic foam – FRP-design structures at dynamic loading conditions, Proceedings des 29th International Symposium on Automotive Technology and Automation (1996), Florenz, 3.-6.6.1996, Hrsg. D. Roller, S. 645
- [12] Deutsches Patentamt, Offenlegungsschrift 1-95.02 307 (1995)
- [13] Deutsches Patentamt, Offenlegungsschrift 1-95 38 844 (1995)
- [14] Banhart J., Baumeister J., Weber M.: Damping properties of foamed aluminium, Mat. Sci. Eng. A205, 221 (1996)
- [15] Endler F., Lahner S., Hoffmann M., Aluminiumschaum aus der Sicht potentieller Anwender, in [3], S. 117

M

METALL

Die internationale Fachzeitschrift für Metallurgie

Wir sind für Sie da:



Redaktion:	0 62 21-48 93 89
Anzeigenleitung:	0 61 81-7 29 04
Abonnement-Service:	0 62 21-48 92 35