

Aluminiumschäumen im kontinuierlichen Betrieb

Joachim Baumeister, Armin Melzer, John Banhart und Markus Weber

Fraunhofer IFAM, Wiener Straße 12, D-28359 Bremen

Dr. Olaf Irretier, Josef Jöbstl

Nabertherm, Bahnhofstr. 20, D-28865 Lilienthal/Bremen

Das Interesse an Aluminiumschäumen als neue Struktur- und Leichtbauwerkstoffe hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Diese Entwicklung ist auf verbesserte Verfahrenstechniken zur wirtschaftlichen Herstellung von Aluminiumschäumen und die ständig steigende Nachfrage nach neuen, kostengünstigen Leichtbaukonzepten zurückzuführen. Der vorliegende Beitrag stellt eine neu entwickelte Anlage vor, in der Aluminiumschäume im kontinuierlichen Betrieb wirtschaftlich hergestellt werden können. Dieses kontinuierlich arbeitende Schäumaggregat ist aus einer Kooperation von Fraunhofer IFAM und Nabertherm entstanden. Hier wurden die Synergien eines seit mehr als 50 Jahren im Bereich des Industrieofenbaus tätigen mittelständigen Unternehmens Nabertherm und einer auf dem Gebiet der Aluminiumschäume führenden Forschungseinrichtung genutzt.

Einleitung

Geschäumte Metalle besitzen zahlreiche attraktive Eigenschaften und gewinnen als Strukturwerkstoff zunehmend an Bedeutung. Wesentliches Merkmal dieser Werkstoffklasse ist die geringe Dichte bei hoher Festigkeit und Steifigkeit, die sie für viele Anwendungen interessant machen. Die metallischen Schäume können durch plastische Verformung sehr gut Stoßenergie absorbieren und sind den Kunststoffen in ihrer Feuer- und Hitzebeständigkeit deutlich überlegen. Die Nachfrage nach neuen Werkstoffkonzepten mit hohem Recyclinganteil spricht ebenfalls für diese Werkstoffklasse. Aluminiumschäume weisen ausgezeichnete Energieabsorptionseigenschaften auf und sind daher auch für den Einsatz als Energieabsorber in Crash-Elementen zur Erhöhung der passiven Sicherheit in Kraftfahrzeugen bestens geeignet. Ein Grund für den lange Zeit geringen Bekanntheitsgrad der Metallschäume war sicherlich in der Art der zur Verfügung stehenden Herstellungsverfahren zu sehen, die durchweg schwierig zu kontrollieren waren und somit zu nur mäßig reproduzierbaren Ergebnissen führten. Mittlerweile sind die Verfahren weiterentwickelt worden, wodurch sich diese Ausgangssituation geändert hat. Die große Anzahl der Anfragen aus der Industrie an den Metallschäumtechnologien zeigt, daß diese Werkstoffklasse als in hohem Maße anwendungsrelevant eingeschätzt wird. Es ist bereits jetzt abzusehen, daß in zunehmendem Maße fertigungstechnische Fragestellungen für die industrielle Umsetzung in den Vordergrund des Interesses rücken werden. Eine Möglichkeit zur Aufhebung der oben beschriebenen Einschränkungen ist das Schäumen im kontinuierlichen Betrieb.

Verfahren zur Herstellung von Aluminiumschaum

Konzentrierte sich anfangs die Forschung im wesentlichen auf Untersuchungen der Eigenschaften der metallischen Schäume sowie die Herstellung konkreter Bauteile im Rahmen von Machbarkeitsstudien, so rücken momentan Fragestellungen in den Vordergrund, die mit fertigungstechnischen Aspekten zusammenhängen. Zudem kommen zunehmend Anfragen aus der Industrie, die wesentlich größere Bauteildimensionen als die bislang realisierten beinhalten. Um diese Anforderungen erfüllen zu können, werden neue Fertigungsstrategien entwickelt, die das Material für die industrielle Anwendung besonders interessant machen. Dieser Trend spiegelt sich auch in der Transportindustrie wieder, wo als Entwicklungspotential für Aluminiumschäume neben Forderungen nach der Reproduzierbarkeit der mechanischen Eigenschaften und die Anpassung der Fügetechnologien verstärkt die Entwicklung wirtschaftlicher Fertigungsverfahren genannt wird. Große Fortschritte wurden hier bereits in der Automobilindustrie erzielt, wo z.B. die Wilhelm Karmann GmbH, Osnabrück, zusammen mit dem Fraunhofer Institut IFAM, Bremen, dreidimensional geformte Aluminiumschaum Sandwichbauteile zur Verstärkung von Space-Frame-Strukturen entwickelt hat /1,2/. Diese Sandwichstrukturen übertreffen bei geringerem Gewicht entsprechende Stahlkonstruktionen hinsichtlich ihrer Steifigkeit und können so zur Versteifung des Rahmens ins Auto eingefügt werden. Ähnliche Anforderungen kommen auch aus anderen Industriezweigen wie z.B. der Bauindustrie, wo ein breites Spektrum von potentiellen Anwendungen existiert. So besteht hier die Nachfrage nach leichten, steifen und nichtbrennbaren Fassadenelementen in Form von Platten aus Aluminiumschaum. Als Alternativmaterial stehen hier nur Honeycomb-Materialien zur Verfügung, die jedoch aufgrund ihres höheren Preises kaum Verwendung finden. Auch bei der Verarbeitung und der Befestigung von Aluminiumschaumplatten werden Vorteile erwartet. Die wirtschaftliche Herstellung großer plattenförmiger Schaumstrukturen mit Abmessungen im Quadratmeterbereich wird zukünftig an Bedeutung gewinnen. In Abb. 1 ist die Porenstruktur eines Aluminiumschaums, hergestellt nach dem Fraunhofer-IFAM Verfahren, dargestellt.

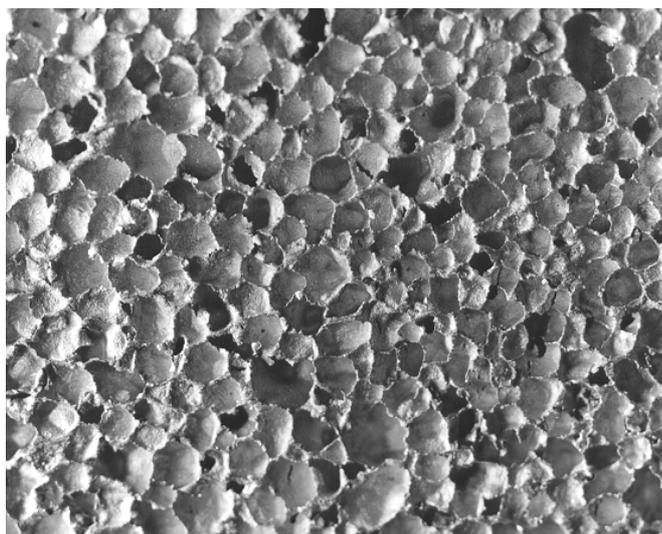


Abb.1: Porenstruktur eines Aluminiumschaums

Fraunhofer-IFAM Verfahren

Der prinzipielle Verfahrensablauf ist in Abb. 2 dargestellt.

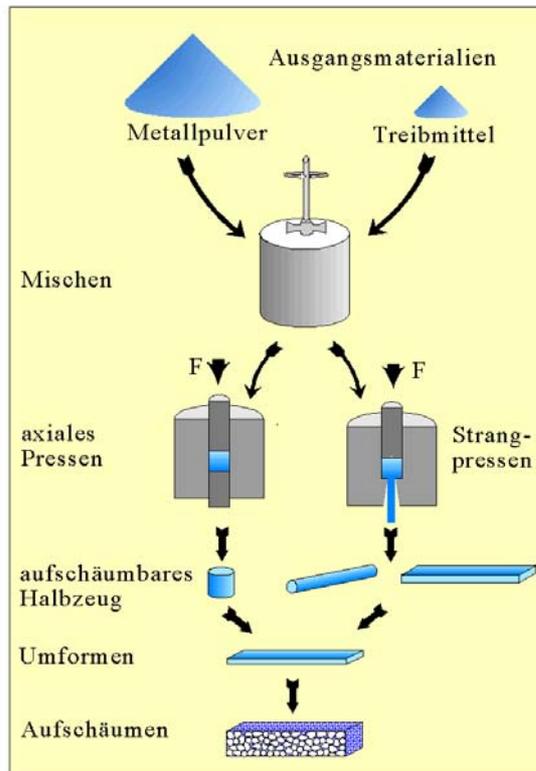


Abb. 2: Prozeßschema zur pulvertechnologischen Herstellung von Metallschaum /4/

Als Ausgangswerkstoff werden handelsübliche Metallpulver mit einem Treibmittel (z.B. Titanhydrid) gemischt und anschließend zu einem aufschäumbaren Halbzeug verdichtet. Weitere Umform- und Bearbeitungsschritte können je nach Anwendung angeschlossen werden. Der Verdichtungsprozeß erfolgt üblicherweise durch Strangpressen, wodurch bereits große Mengen an schäumbaren Halbzeug wirtschaftlich hergestellt werden können. Der Anteil an Treibmittel ist sehr gering und liegt in der Regel unter einem Prozent, wodurch das aufschäumbare Halbzeug in seinen Eigenschaften kaum vom konventionellen Material zu unterscheiden ist. Am IFAM wurde das Verfahren bereits für Aluminium, Aluminiumlegierungen, Zink, Zinn, Bronze, Messing, Blei und Gold mit Erfolg durchgeführt und die Prozeßparameter für spezielle Anwendungen optimiert, wobei Aluminium und seine Legierungen jedoch aufgrund des breiteren Anwendungsspektrums bisher im Vordergrund des Interesses stehen.

Das auf diese Weise hergestellte schäumbare Halbzeug wird nun dem eigentlichen formgebenden Schäumprozeß unterzogen. Der Schäumprozeß wird bei Temperaturen knapp über dem Schmelzpunkt der gewählten Metalllegierung durchgeführt. Bei diesen Temperaturen kommt es zur Gasfreisetzung des Treibmittels und es entsteht die gewünschte Schaumstruktur. Nach Erreichen der gewünschten Expansion wird der Prozeß durch Abkühlung beendet und die Schaumstruktur stabilisiert. Man erhält einen hochporösen Werkstoff mit geschlossenen Poren. Bei Aluminiumschäumen können in Abhängigkeit von den Prozeßpara-

metern Dichten zwischen 0,4 und 1,0 g/cm³ eingestellt werden. Der Schäumvorgang als solcher ist ein entscheidender Prozeßschritt, der über die Form, Größe und Qualität der gewünschten Schaumteile entscheidet. Zur Herstellung unterschiedlicher Strukturbauteile aus Aluminiumschaum werden verschiedene Techniken beim Schäumprozeß angewendet. In Abb. 3 sind die wichtigsten Strukturvarianten dargestellt.

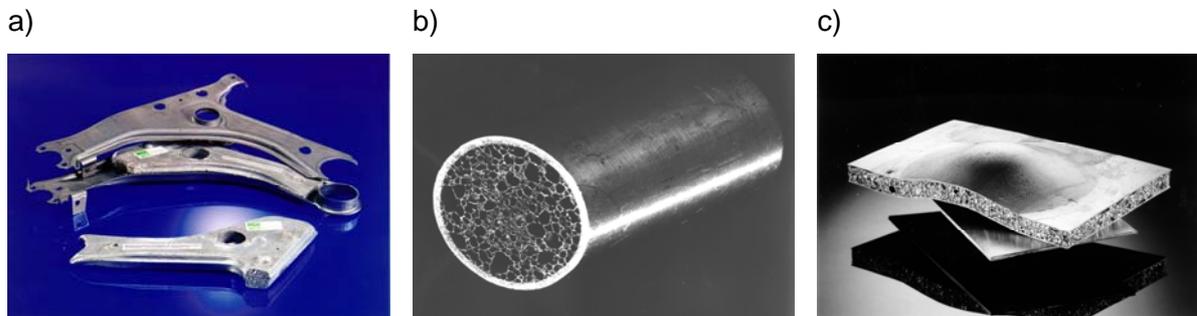


Abb. 3: Schäumvariationen nach dem pulvertechnischen Fraunhofer IFAM-Prozeß
a) Formkörper; b) ausgeschäumte Hohlprofile; c) Sandwich-Strukturen mit Stahldeckblech /8/

Relativ komplexe, endformnahe Bauteile können hergestellt werden, indem entsprechend gestaltete Hohlformen ausgeschäumt werden (Abb. 3a). Der expandierende Schaum füllt den Hohlraum hierbei völlig aus. Die Außenhaut der Schaumteile ist in diesen Fällen geschlossen. Auch flach ausgewalzte Bleche aus aufschäumbarem Halbzeug können auf diese Weise zu Plattenmaterial aufgeschäumt werden. Durch das Ausschäumen von Hohlprofilen (Abb. 3b) können hohe Steifigkeiten bei gleichzeitig geringem Gewicht erreicht werden. Weiterhin ist es möglich, Sandwichstrukturen mit einem hochporösen Aluminiumschaumkern und verschiedenen Deckblechen herzustellen. Durch eine Formgebung des Ausgangsmaterials vor dem Schäumen lassen sich auch dreidimensional geformte Sandwichstrukturen herstellen (Abb. 3c).

Prozeßtechnik und fertigungstechnische Aspekte

Interessante Anwendungsgebiete für Aluminiumschäume liegen in allen Bereichen des Leichtbaus, wobei das günstige Verhältnis von Masse zu Steifigkeit ausgenutzt werden kann. Durch die Bereitstellung geeigneter Prozeßtechniken sind zahlreiche Anwendungen z.B. in der Automobilindustrie, Luftfahrtindustrie, Bauindustrie, Maschinenbau, Schiffsbau und Haushaltstechnik zu erwarten.

Auch fertigungstechnische Fragestellungen nach kürzeren Prozeßzeiten, geringeren Bauteiltoleranzen, besserer Prozeßkontrolle und höheren Stückzahlen sprechen für die Entwicklung neuer Schäumtechniken. Die wirtschaftliche Herstellung großer Aluminiumschaumplatten und Aluminiumschaum-Sandwichstrukturen ist hierbei ein zentrales Thema und stellt an den Schäumprozeß folgende wesentliche Anforderungen:

- gleichmäßiges Aufschäumen durch homogene Erwärmung
- geringe Bauteiltoleranzen und hohe Oberflächengüten

- hohe Reproduzierbarkeit und Prozeßsicherheit
- Erzeugung einer homogenen Porenstruktur mit konstanten Eigenschaften

Die bislang hauptsächlich eingesetzte Ofentechnik, bei der das aufzuschäumende Aluminiumhalbzeug in einen Ofen eingeschoben wird, stößt bei großflächigen Schaumstrukturen auf Grenzen und ist zudem für größere Stückzahlen bei gleichzeitig kurzen Prozeßzeiten nicht gut geeignet. Darüber hinaus wird sich die Herstellung sehr langer Aluminiumschaumteile wirtschaftlich nicht realisieren lassen. Kontinuierlich arbeitende Schäumkonzepte können hier Abhilfe schaffen. Dabei sind praktisch keine Begrenzungen in der Länge der Schaumteile durch die Ofengröße vorgegeben. Gleichzeitig können die Prozeßzeiten auf diese Weise deutlich gesenkt werden. Das aufschäumbare Halbzeug kann mittlerweile durch Strangpressen problemlos in den unterschiedlichsten Formaten zur Verfügung gestellt werden.

In Abb. 4 ist das vom Fraunhofer IFAM eingesetzte Anlagenprinzip zur kontinuierlichen Herstellung von Aluminiumschäumen dargestellt. Dieses Schäumaggregat wurde in enger Zusammenarbeit mit der Firma Nabertherm entwickelt und von Nabertherm gebaut.

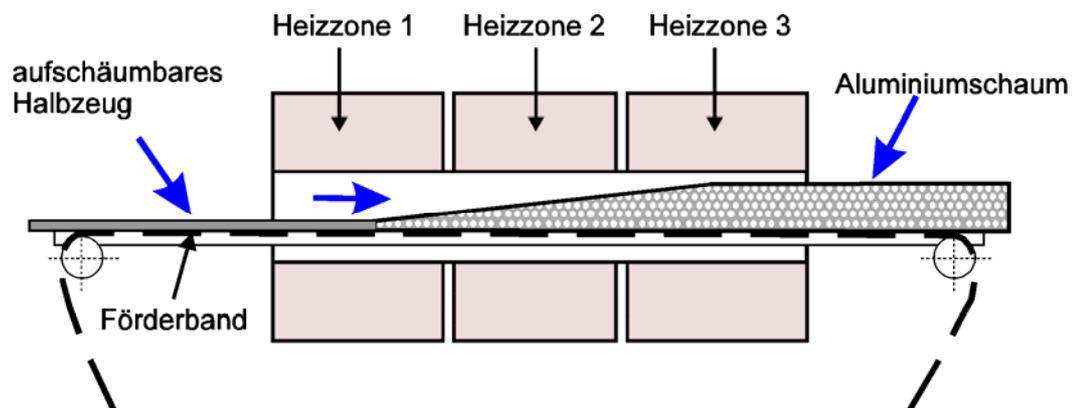


Abb. 4: Kontinuierliches Schäumverfahren zur Herstellung von Aluminiumschaumplatten nach dem IFAM Verfahren

Bei diesem Verfahren findet ein kontinuierlicher Schäumprozeß beim Durchlaufen der Heizzone des Ofens statt. Nach Verlassen des Ofens ist der Prozeß abgeschlossen und das Bauteil kann seiner weiteren Verwendung zugeführt werden. Folgende Aluminiumschaumstrukturen können mit dieser Technik hergestellt werden:

- Aluminiumschaumplatten
- schaumgefüllte Sandwichstrukturen mit Deckblechen
- schaumgefüllte Profile
- dreidimensionale Strukturen durch Ausschäumen von Hohlformen

Durchlauföfen sind kontinuierlich betriebene Ofenanlagen, die in allen Bereichen der Wärmebehandlung eingesetzt werden. Die Vorteile solcher Anlagen liegen im hohen Durchsatz,

der leichten Automatisierbarkeit und der hohen Reproduzierbarkeit der Wärmebehandlungsergebnisse. In Verbindung mit anderen Ofenmodulen wie Warmauslagerungsstrecke und Kühlstrecke können die Anlagen zu fertigungsgerechten Wärmebehandlungsstraßen zusammengestellt werden.

Der entwickelte Durchlaufofen D220/S ist in Abb. 5 dargestellt.



Abb. 5: Durchlaufofen D220/S

Ofentechnik – D220/S

Der Durchlaufofen D220 ist für den Betrieb auch unter Schutzgas bis zu Temperaturen von 1000°C ausgelegt und wird elektrisch beheizt. Die mehrschichtig aufgebaute Isolierung zeichnet sich durch ein gutes Isoliervermögen, hohe Temperaturwechselbeständigkeit und geringe Schwindung aus und gewährleistet eine optimale Temperaturverteilung, bei wirtschaftlichem Betrieb der Anlage. Seitlich an der Ofenkammer angebrachte Sichtfenster ermöglichen eine on-line Beobachtung des Prozesses. Die Schutzgasspülung kann optional über die Nabertherm-Regelung automatisiert und geregelt werden. Die Fördergeschwindigkeit des Transportbandes kann an die Anforderungen des Prozesses exakt angepaßt werden. Der Fördergurt ist auch für hohe mechanische Beanspruchungen und Gewichte geeignet.

Die Schalt- und Regelanlage des D220/S zeichnet sich entsprechend der über Jahrzehnte praktizierten Nabertherm-Philosophie durch eine einfache Bedienung aus. Die Regelparameter können exakt an die Erfordernisse des Prozesses angepaßt werden. Dadurch ist ein exakter Temperaturverlauf möglich, der nicht nur zu einem gleichmäßigen Wärmebehandlungsergebnis führt, sondern vor allem die Heizelemente vor Überlastung schützt und damit deren Lebensdauer verlängert.

Der D220/S ist wie alle Naberthermöfen entsprechend den geltenden EU Vorschriften gebaut und trägt das CE-Zeichen. Alle sicherheitsrelevanten Vorschriften wie DIN, VDE, EN und EMV sind eingehalten:

Als erster Ofenbauer Deutschlands erhielt Nabertherm bereits im Juni 1993 die Qualitäts-Zertifizierung nach ISO 9001. Danach erfüllt die Produktion weltweit den höchsten Qualitätsstandard. Die modulare Bauweise der Naberthermöfen ermöglicht ein einfaches und kostengünstiges Auswechseln der Verschleißteile wie Heiz- und Thermoelemente.

Nicht nur für die Wärmebehandlung von Bauteilen im Chargenbetrieb – hier liefert Nabertherm Ofentypen von bis zu 20.000 Litern Volumen – sondern auch für den kontinuierlichen Betrieb hat Nabertherm eine Vielzahl individueller Lösungen entwickelt. Zugespitzt auf das Anwendungsproblem erarbeiten Nabertherm-Entwicklungsingenieure in enger Kooperation mit Kunden Konzepte, die sich durch:

- hohe Anlagensicherheit
- hohe Rationalisierung des Produktionsablaufs
- hohe Flexibilität
- und geringe Betriebskosten auszeichnen.

Ausblick

Die beschriebenen Schäumverfahren sind mittlerweile soweit ausgereift, daß eine industrielle Umsetzung naherrückt. Hierzu ist die Prozeßtechnik für die Massenproduktion auszulegen, wodurch der Preis für Aluminiumschaumprodukte deutlich gesenkt werden kann. Die gewählte Prozeßtechnik ist stark abhängig von der zu fertigenden Bauteilgeometrie und den gewünschten Schaumeigenschaften. Für die Industrie eröffnen sich hier Chancen, neue Produkte und somit auch neue Absatzmärkte zu erschließen.

Literatur

- /1/ *Banhart J., Baumeister J.: Weber M., Melzer A.: Aluminiumschaum - Entwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten; Ingenieurwerkstoffe, 7 (1998), Seite 43-45*
- /2/ *Seeliger H.W.: Complex shaped aluminium foam sandwich panels for automotive applications. Proceedings Symposium Metal Foams, Oktober 1997, MIT-Verlag Bremen (1998)*
- /3/ *Baumeister J.: Überblick: Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen; Symposium Metallschäume, März 1997, MIT-Verlag Bremen (1997)*
- /4/ *Baumeister J.: Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper; Patent DE 40 18 360 (1991)*
- /5/ *Banhart J., Baumeister J.: Das Verformungsverhalten geschäumter Metalle; Metall 51 (1997) S.19*
- /6/ *J. Baumeister, H. v. Hagen, D. Hatzfeldt, M. Paschen, M. Weber; Sandwichkonstruktionen aus Stahlblech mit geschäumtem Aluminium, Tagungsband Werkstoffwoche (1996), Stuttgart, S. 1017*
- /7/ *Produktdatenblätter „Aluminium Foam“ Hydro Aluminium*
- /8/ *Forschungsbericht P281.1; Industrielle Nutzung von Stahlblechverbundwerkstoffen mit geschäumtem Aluminium; Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V.*

Zu den Autoren

Dipl.-Phys. Joachim Baumeister, Jahrgang 1959, studierte Physik in Bonn und ist seit 1985 am IFAM beschäftigt.

Dr.-Ing. Armin Melzer, Jahrgang 1964, studierte Maschinenbau an der RWTH Aachen. Von 1991 bis 1996 war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffwissenschaften der RWTH Aachen tätig und promovierte dort 1996 auf dem Gebiet der Beschichtungstechnik. Seit 1996 arbeitet er am IFAM in Bremen.

Dr. John Banhart, Jahrgang 1958, studierte Physik an der Universität München und promovierte im Bereich Physikalische Chemie nach einem Forschungsjahr an der TU Wien. Seit 1991 arbeitet er am IFAM in Bremen.

Dr.-Ing. Markus Weber, Jahrgang 1966, studierte Metallurgie und Werkstofftechnik an der RWTH Aachen und am INSA in Lyon. Seit 1991 arbeitet er am IFAM in Bremen; Promotion 1995 an der TU Clausthal über das Thema „Metallschäume“.

Dr. Ing. Olaf Irretier (31) ist bei Nabertherm als Assistent der Geschäftsleitung tätig.

Josef Jöbstl (46) ist als Entwicklungsingenieur bei Nabertherm im Geschäftsbereich Wärmebehandlung von Metallen tätig.