

# Wirtschaftliche Fertigungstechniken für die Herstellung von Aluminiumschäumen

## Cost-effective production techniques for the manufacture of aluminium foams

J. Banhart, J. Baumeister, Bremen, O. Irretier und J. Jöbstl, Lilienthal

*Interest in aluminium foam as a lightweight structural material has increased considerably in recent years. This can be attributed to improved process techniques for the cost-effective manufacture of aluminium foams, combined with the constantly increasing demand for new and economical lightweight construction concepts. The present contribution discusses options for the cost-effective production of aluminium foams and describes two units recently developed for the purpose. The foam furnaces on which these are based are the outcome of a collaboration between the Fraunhofer IFAM and Nabertherm, which made the most of the synergy between Nabertherm, a medium-sized company active in the field of industrial furnace construction for more than 50 years, and a leading research facility in the area of aluminium foams.*

*Foamed metals have many attractive properties and are becoming increasingly important as structural materials [1]. An essential characteristic of this category of materials is their high mass-specific rigidity, which is an important attribute for many lightweight construction applications [2, 3]. Aluminium foams also show outstanding energy absorption properties and are therefore ideal for use as energy absorbers in crash elements to increase passive safety in motor vehicles. Finally, metallic foams are of course clearly superior to plastic foams in their resistance to fire and heat. The large number of inquiries from industry about metal foams shows that such materials are regarded as highly application-relevant. It is already becoming apparent that*

*Das Interesse an Aluminiumschaum als Struktur- und Leichtbauwerkstoff 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 diskutiert Möglichkeiten, Aluminiumschäume kostengünstig herzustellen und stellt zwei neu entwickelte Anlagen dazu vor. Die zugrundeliegenden Schäumöfen sind aus einer Kooperation von Fraunhofer IFAM und Nabertherm entstanden. Hier wurden die Synergien des seit mehr als 50 Jahren im Bereich des Industrieofenbaus tätigen mittelständischen Unternehmens Nabertherm und einer auf dem Gebiet der Aluminiumschäume führenden Forschungseinrichtung genutzt.*

Geschäumte Metalle besitzen zahlreiche attraktive Eigenschaften und gewinnen als Strukturwerkstoff zunehmend an Bedeutung [1]. Ein wesentliches Merkmal dieser Werkstoffklasse ist die erhöhte massenspezifische Steifigkeit, die für viele Leichtbauanwendungen wichtig ist [2,3]. Aluminiumschäume weisen außerdem ausgezeichnete Energieabsorptionseigenschaften auf und sind daher auch für den Einsatz als Energieabsorber in Crash-Elementen zur Erhöhung der passiven Sicherheit in Kraftfahrzeugen bestens geeignet. Schließlich sind metallische Schäume Kunststoffschäumen naturgemäß in ihrer Feuer- und Hitzebeständigkeit deutlich überlegen. Die große Anzahl der Anfragen aus der Industrie zu den Metallschäumen zeigt, dass diese

Werkstoffklasse als in hohem Maße anwendungsrelevant eingeschätzt wird. Es ist bereits jetzt abzusehen, dass in zunehmendem Maße fertigungstechnische Fragestellungen in den Vordergrund des Interesses rücken werden, womit in erster Linie eine kostengünstige Massenproduktion gemeint ist.

### Verfahren zur Schaumherstellung

Der Verfahrensablauf ist in Bild 1 schematisch dargestellt. Als Ausgangswerkstoff werden handelsübliche Metallpulver oder Metallpulvermischungen mit einem Treibmittel (z.B. Titanhydrid) gemischt und anschließend zu einem aufschäumbaren Vormaterial ver-

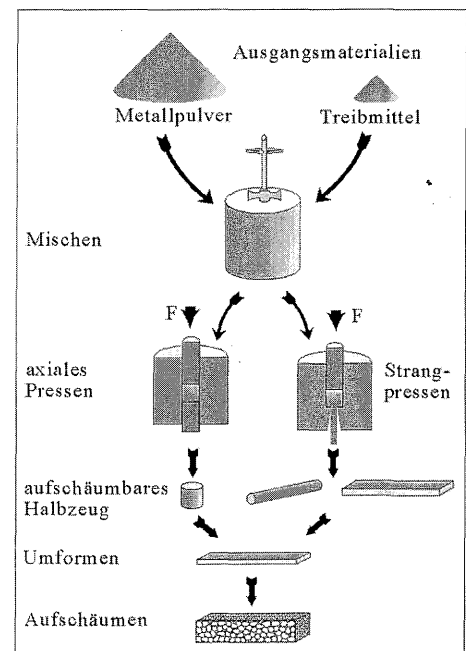


Bild 1: Prozessschema der pulvertchnologischen Herstellung von Metallschaum [4]

Fig. 1: Processing scheme for the powder technological production of metal foams [4]

dichtet. Der Verdichtungsprozess erfolgt üblicherweise durch Strangpressen, wodurch bereits große Mengen an Vormaterial wirtschaftlich hergestellt werden können. Der Anteil an Treibmittel ist sehr gering und liegt in der Regel unter einem Prozent. Weitere Umform- und Bearbeitungsschritte können je nach Anwendung an die Verdichtung angeschlossen werden. Das auf diese Weise hergestellte, schäumbare Halbzeug wird nun dem eigentlichen formgebenden Schäumprozess unterzogen, der bei Temperaturen knapp über dem Schmelzpunkt der

gewählten Metalllegierung stattfindet. 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. In der Regel werden Aluminium und seine Legierungen geschäumt, wobei Dichten zwischen ca. 0,4 und 1,0 g/cm<sup>3</sup> eingestellt werden können. Zur Herstellung unterschiedlicher Strukturbauteile aus Aluminiumschaum werden verschiedene Techniken beim Schäumprozess angewendet. In Bild 2 sind die wichtigsten Strukturvarianten dargestellt.

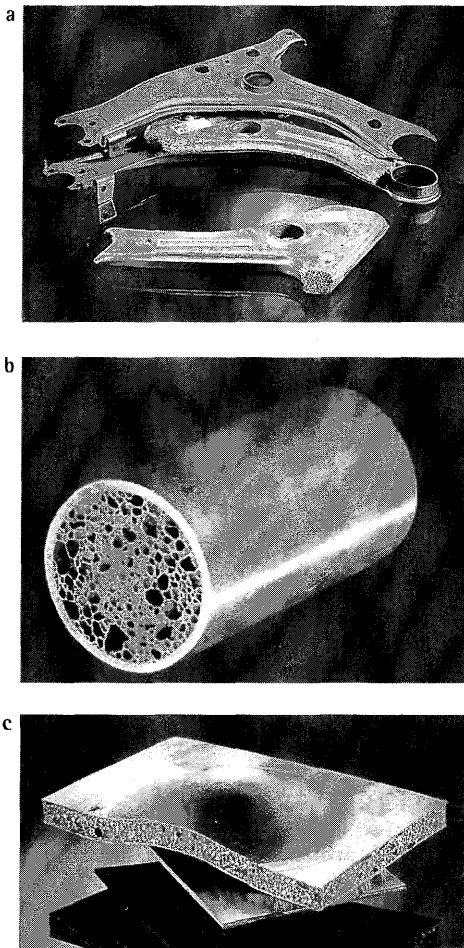
Relativ komplexe, endformnahe Bauteile können hergestellt werden, indem entsprechend gestaltete Hohlformen ausgeschäumt werden (Bild 2a). Der expandierende Schaum füllt den Hohlraum hierbei völlig aus. Die Außenhaut der Schaumteile ist in diesen Fällen geschlossen. Auch flach ausgewalzte Bleche aus aufschäumbarem Halbzeug können auf diese Weise zu Plattenmaterial aufgeschäumt werden. Durch das (ggf. auch nur partielle) Ausschäumen von Hohlprofilen (Bild 2b) können hohe Steifigkeiten bei gleichzeitig geringem Gewicht und eine verbesserte Energieaufnahme 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 darstellen (Bild 2c).

*production technological questions will increasingly occupy the focus of attention, above all the cost-effective mass production of foams.*

### Foam production processes

*The process sequence is illustrated schematically in fig. 1. The starting material is commercially available metal powder or a mixture of this with a propellant such as titanium hydride, which is compacted to make a foamable preliminary material. Compacting is usually done by extrusion, whereby large amounts of the preliminary material can already be made economically. The proportion of propellant is very small, as a rule less than 1%. Depending on the application, compacting may be followed by other forming and processing steps. The foamable semifabricate produced in this way is now subjected to the actual, shape-producing foaming process, which takes place just under the melting point of the alloy chosen. At this temperature gas is released from the propellant and the desired foam structure is produced. When the desired degree of expansion has been reached, the process is terminated by cooling and the foam structure is stabilised. The result is a highly porous material with closed pores. As a rule, foams made from aluminium and its alloys have a density between about 0.4 and 1.0 g/cm<sup>3</sup>. Different aluminium foam structural components are made using different foaming process techniques. Fig. 2 shows the most important structure variants.*

*Relatively complex near-net-shape components can be produced by foam filling correspondingly designed hollow moulds (fig. 2a). In this, the expanding foam fills the hollow space completely. In such cases the outer skin of the foam article is closed. Even flat-rolled sheets of foamable material can be foamed to make plates in this way. The foaming (even if only partial) of hollow sections (fig. 2b) can produce components with high*



Bilder 2a bis c: Schäumvariationen nach dem pulvertechnischen Fraunhofer-Verfahren. Formkörper (Bild 2a), ausgeschäumte Hohlprofile (Bild 2b), Sandwich-Strukturen mit Stahldeckblech (Bild 2c)

Figs. 2a to c: Foam variations according to the powder technological Fraunhofer process; moulded articles (fig. 2a), foamed hollow section (fig. 2b), sandwich structures with steel cover-sheets (fig. 2c)

### Prozesstechnik und fertigungstechnische Aspekte

#### Ziele

Fertigungstechnische Fragestellungen nach kürzeren Prozesszeiten, geringeren Bauteiltoleranzen, besserer Prozesskontrolle und

rigidity, low weight and with superior energy absorbing properties. It is also possible to produce sandwich structures with a highly porous aluminium foam core and various covering sheets. By shaping the starting material before the foaming stage, sandwich structures of three-dimensional shape can be made (fig. 2c).

### Process technology and production technique aspects

#### Objectives

Process technology aims to solve problems such as the reduction of process times, the achievement of closer component tolerances, improved process control and larger production runs. All these aspects encourage the development of new foam techniques. In this, the economical production of more complex aluminium foam components, large plates or aluminium foam sandwich structures is a central theme, which makes the following essential demands on the foaming process:

- uniform foaming by homogeneous heating,
- controlled cooling after the foaming to minimise shrinkage defects,
- small component tolerances and good surface quality,
- high reproducibility and process reliability,
- production of a homogeneous pore structure with constant properties,
- low energy consumption.

#### Conventional laboratory process technology

Until now a simple, discontinuous furnace technique has mainly been used. In this, the foamable preliminary material in appropriate dimensions and quantity is placed in a foaming mould closed on all sides. The mould is firmly closed and placed in a chamber furnace of sufficient temperature homogeneity (e.g. a forced draught fur-

höheren Stückzahlen sprechen für die Entwicklung neuer Schäumtechniken. Die wirtschaftliche Herstellung komplizierter Aluminiumschaumteile, großer Platten oder Aluminiumschaum-Sandwichstrukturen ist hierbei ein zentrales Thema und stellt an den Schäumprozess folgende wesentliche Anforderungen:

- gleichmäßiges Aufschäumen durch homogene Erwärmung,
- kontrollierte Abkühlung nach dem Schäumen um Schrumpfungsfehler zu minimieren,
- geringe Bauteiltoleranzen und hohe Oberflächengüten,
- hohe Reproduzierbarkeit und Prozesssicherheit,
- Erzeugung einer homogenen Porenstruktur mit konstanten Eigenschaften,
- geringer Energieverbrauch.

#### Konventionelle Laborprozess-technik

Bislang wurde überwiegend eine einfache diskontinuierliche Ofentechnik angewendet. Hierbei wurde aufschäumbares Vormaterial in geeigneten Abmessungen und Mengen in eine allseitig geschlossene Schäumform eingelegt, die Form dann fest geschlossen und in einen Kammerofen mit ausreichend hoher Temperaturhomogenität (z.B. einen Umluftofen) eingelegt. Die Form erwärmte sich dann und mit ihr durch Wärmeleitung durch die Formwände das aufschäumbare Aluminium-Vormaterial. Nach Erreichen der Schmelztemperatur setzte das Schäumen ein und füllte die Form vollständig.

Mit dieser Herangehensweise sind einige Nachteile verbunden:

- Lange Schäumzeit: Die meiste Zeit wird damit verbracht, die Schäumform auf die Schäumtemperatur zu erwärmen. Beispiel: Das in Bild 2a gezeigte Teil wurde in einer Schäumform mit 3 mm Wandstärke in einem auf 750°C vorgeheizten Ofen hergestellt. Der gesamte Schäumprozess dauerte 16 Minuten, wobei auf die Erwär-

mung der Form und des Halbzeuges ca. 12 Minuten verwandt wurden.

- Hoher Energieverbrauch: da in Universalöfen geschäumt wird, ist i.a. das Ofenvolumen wesentlich größer als das Volumen der Form. Ein großer, ungenutzter Raum wird somit mitgeheizt. Da nach dem Schäumen auf Raumtemperatur abgekühlt werden muss um das Bauteil entnehmen zu können, verliert man die in der Schäumform gespeicherte Energie ebenfalls.

- Mangelnde Prozesskontrolle: Die einzigen Einstellparameter sind die Ofentemperatur und die Schäumzeit. Oft wird festgestellt, dass trotz homogener Ofentemperatur das Schäumen z.B. an Bauteilecken oder an dünnen Bauteilpartien früher einsetzt als an anderen Stellen. Da der Aluminiumschaum nach Erreichen der maximalen Expansion relativ schnell kollabiert, man aber andererseits warten muss, bis alle Teile der Form voll ausgeschäumt sind, erzeugt dies Probleme, die man durch zeitraubende Modifikationen der Schäumform beheben muss.

#### Schäumen von Aluminium in automatisierten Schäumöfen

Einige der im letzten Abschnitt beschriebenen Nachteile lassen sich aufheben, wenn speziell auf das herzustellende Schaumteil zugeschnittene Schäumöfen verwendet werden. Für den Fall einer Aluminiumschaumplatte der Abmessungen 800x400x10 mm<sup>3</sup> wurde vom IFAM in Zusammenarbeit mit Nabertherm eine Pilotanlage gebaut, deren Prinzip in Bild 3 skizziert ist. Ein Merkmal ist, dass der Ofen in seiner Geometrie der Platte angepasst ist. Damit wird das Volumen des Ofens so klein wie möglich gehalten. Der Ofeninnenraum enthält lediglich das Schäumwerkzeug, in dem ein 2,5 bis 3 mm starkes Blech aus aufschäumbarem Aluminium zu einer 10 mm dicken Platte aus Aluminiumschaum aufgeschäumt wird. Das Werkzeug ist so gelagert, dass der vorgeheizte

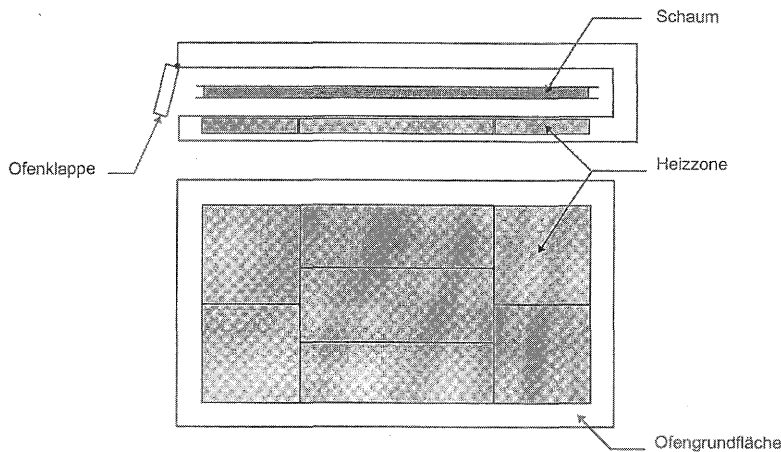


Bild 3: Prinzip des Schäumofens für Aluminiumschaumplatten.

Fig. 3: Principle of the foaming furnace for aluminium foam plates

Ofen über das Werkzeug hinübergefahren und nach dem Schäumen wieder weggefahren werden kann. Das Werkzeug wird von unten von 7 Heizzonen beheizt, die von einem Rechner einzeln geregelt werden können. Auf diese Weise kann eine gute Temperaturhomogenität über die ganze Platte erzielt werden. Das Werkzeug ist zudem an der Oberseite mit einer Reihe von Thermoelementen bestückt, die durch einen Temperatursprung anzeigen, wenn der expandierende Schaum die Werkzeigoberseite berührt. So kann auch ohne visuelle Kontrolle der Füllzustand des Schäumwerkzeuges überwacht werden. Das Programm auf dem Steuerrechner analysiert diese Temperaturdaten und meldet durch ein Signal das Ende des Schäumprozesses, nach dem (noch manuell) der Ofen vom Werkzeug weggefahren und die Pressluftkühlung angeschaltet wird.

Eine weitere Entwicklungsstufe der automatisierten Schäumtechnik ist momentan noch in der Pla-

nungsphase. Hierbei soll ein Werkzeug verwendet werden, das im heißen Zustand zur Entformung des Schaumteils motorgetrieben auseinandergefahren werden kann und über einen Auswerfer verfügt. Geplant ist, den Ofen zyklisch zwischen etwa 450°C und der Schäumtemperatur (ca. 650°C) zu fahren. Im Temperaturminimum von 450°C würde dann nach jedem Zyklus das erstarrte Schaumteil entnommen und ein neues aufzuschäumendes, evtl. vorgeheiztes Vormaterial eingelegt werden. Auf diese Weise könnte der Energieverbrauch beim Schäumen gesenkt, die Taktzeiten erheblich verkürzt und auch der Werkzeugverschleiß gesenkt werden.

#### Kontinuierliches Schäumen im Banddurchlaufofen

Kontinuierlich arbeitende Schäumkonzepte können eine alternative Lösung der beschriebenen

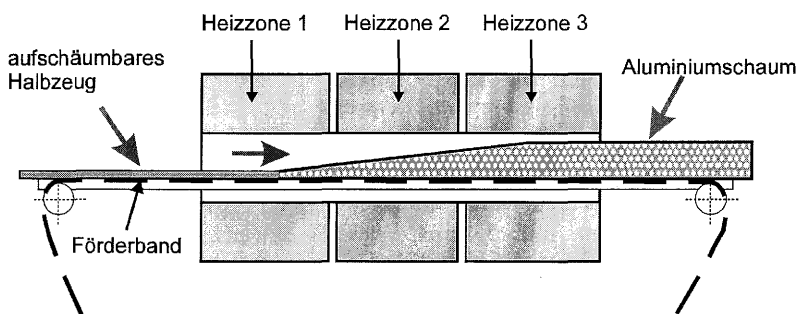


Bild 4: Prinzip des kontinuierlichen Schäumens von Aluminiumschaum

Fig. 4: Principle of the continuous production of aluminium foam

nace). The mould then heats up, and with it, thanks to the heat conductivity of its walls, so too does the foamable aluminium preliminary material. When the melting temperature is reached, foaming begins and the mould is filled completely.

This procedure has a number of disadvantages:

□ Long foaming time, most of which is used in heating the foam mould to the foaming temperature. For example, the component shown in fig. 2a was made in a foam mould with walls 3 mm thick placed in a furnace preheated to 750°C. The entire foaming process took 16 min, 12 min of which were consumed in heating the mould and its semifabricate.

□ High energy consumption, since the foaming takes place in a universal furnace, i.e. the furnace volume is essentially larger than the volume of the mould. since after foaming the mould must be cooled to room temperature in order to extract the component, the heat energy stored in the foam mould is also lost.

□ Lack of process control. The only adjustable parameters are the furnace temperature and the foaming time. It is often observed that despite a uniform furnace temperature foaming begins earlier in some parts of a component than in others, for example at corners or thin portions. Since once the aluminium foam has reached its maximum expansion it collapses relatively quickly, but on the other hand one must wait until all parts of the mould have been completely filled with foam, this creates problems that have to be overcome by time-consuming modifications of the foam mould.

#### Foaming of aluminium in automated foaming furnaces

Some of the disadvantages described in the preceding section can be overcome by using foaming furnaces tailor-made specially for the foam component to be produced. For the case of an alumin-

ium foam plate measuring 800 x 400 x 10 mm<sup>3</sup> a pilot unit was built by IFAM in collaboration with Nabertherm, whose principle is outlined in fig. 3. A characteristic of it is that the geometry of the furnace is adapted to that of the plate, so keeping its volume as small as possible. The inside space of the furnace holds only the foaming die mould in which a sheet of foamable aluminium 2.5 to 3 mm thick is foamed to a 10 mm aluminium foam plate. The die mould is positioned such that the preheated furnace can be moved on top of it and away again once foaming has taken place. The die mould is heated from underneath by 7 heating zones that can be individually regulated by computer to give good temperature homogeneity across the whole plate. The die mould is provided with a series of thermocouples at the top which indicate when the expanding foam has made contact with its upper surface by a jump in the temperature. The filling of the foam die mould can therefore be monitored without visual inspection. The program on the control computer analyses these temperature data and signals the end of the foaming process, after which the furnace is moved (manually) away from the die mould and the compressed air cooling is switched on.

A further development step of the automated foaming technique is currently still at the planning stage. In this, a die mould will be used, which can be split by a motor drive in the hot condition and comprises an ejector mechanism for the extraction of the foam component. It is planned to cycle the furnace temperature between about 450°C and the foaming temperature of around 650°C. At the minimum temperature of 450°C the solidified foam component will be extracted at the end of each cycle and new preliminary material, if necessary preheated, will be introduced. This will reduce energy consumption during the foaming, shorten the cycle times considerably, and also reduce die mould wear.

#### Continuous foaming in a strip throughput furnace

An alternative solution to the problems described can be provided by foaming concepts that operate continuously. Here, almost no limits are imposed on the length of the foam components by the size of the furnace. At the same time, process times can be reduced considerably. The foamable semifabricate can in the meantime be produced by extrusion in the most varied formats without problems.

Fig. 4 illustrates the principle of the plant used by the Fraunhofer IFAM for the continuous production of aluminium foams. This foaming equipment was developed in collaboration with the company Nabertherm and built by the latter. In this method foaming takes place continuously as the material passes through the hot zone of the furnace. The process concludes when the material leaves the furnace and the product can then move on for further processing and application. The following aluminium foam structures can be produced using this technique:

- aluminium foam plates,
- foam-filled sandwich structures with cover-sheets,
- three-dimensional structures made by the foaming of hollow shapes.

Fig. 5 shows the D220/S continuous throughput furnace developed. In operation, it is designed for temperatures up to 1000°C under protective gas and is electrically heated. Its multi-layer insulation is characterised by good insulating action, high temperature fluctuation stability and low shrinkage, and ensures an optimum temperature distribution along with economical operation of the unit. The process can be observed visually through inspection ports located along the side of the furnace chamber. Optimally, the protective gas flushing can be automated and regulated by the control system. The speed of the conveyor strip can be adapted exactly to the requirements of the process. The convey-

nen Probleme anbieten. 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 Bild 4 ist das vom Fraunhofer IFAM eingesetzte Anlagenprinzip zur kontinuierlichen Herstellung von Aluminiumschäumen dargestellt. Dieses Schäumaggregat wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Nabertherm entwickelt und von Nabertherm gebaut. 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.

Der entwickelte Durchlaufofen D220/S ist in Bild 5 gezeigt. Er 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 gleichzeitig wirtschaftlichem Betrieb der Anlage. Seitlich an der Ofenkammer angebrachte Sichtfenster ermöglichen eine visuelle Beobachtung des Prozesses. Die Schutzgasspülung kann optional über die Regelung automatisiert und geregelt werden. Die Fördergeschwindigkeit des Transportbandes kann an die Anforderungen des Prozesses exakt angepasst



Bild 5: Durchlaufofen D220/S

werden. Der Fördergurt ist auch für hohe mechanische Beanspruchungen und Gewichte geeignet. Die Regelparameter des Ofens können exakt an die Erfordernisse des Prozesses angepasst werden, wodurch ein exakter Temperaturverlauf möglich ist, der nicht nur zu einem gleichmäßigen Wärmebehandlungsergebnis führt, sondern vor allem die Heizelemente vor Überlastung schützt und damit deren Lebensdauer verlängert.

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 Nabertherm-Öfen ermöglicht ein einfaches und kostengünstiges Auswechseln der Verschleißteile wie Heiz- und Thermoelemente. Bei der Konstruktion des Schäumofens wurde außerdem auf folgende Punkte Wert gelegt:

- hohe Anlagensicherheit,
- hohe Rationalisierung des Produktionsablaufs,
- hohe Flexibilität der Anlage,
- geringe Betriebskosten.

### Ausblick

Die beschriebenen Schäumverfahren sind mittlerweile soweit ausgereift, dass eine industrielle Umsetzung näherückt. Hierzu ist die Prozesstechnik für die Massenproduktion auszureifen, 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 eröff-

Fig. 5: D220/S continuous throughput furnace

nen sich hier Chancen, neue Produkte und somit auch neue Absatzmärkte zu erschließen.

### Schrifttum/References

- [1] Banhart J., Ashby M.F., Fleck N.A. (Editors): Metal Foams and Porous Metal Structures, Proceedings of International Conference, Bremen, 14.-16. June 1999, MIT-Verlag Bremen (1999), <http://www.mit-verlag.de/foams>
- [2] Banhart J., Baumeister J.: Weber M., Melzer A.: Aluminiumschaum - Entwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten; Ingenieurwerkstoffe 7, 43-45 (1998)
- [3] Seeliger H.W.: Complex shaped aluminium foam sandwich panels for automotive applications. Proceedings Symposium Metal Foams, 7.-8. October 1997, MIT-Verlag Bremen (1998)
- [4] Baumeister J.: Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper; Patent DE 40 18 360 (1991)

### Autoren

Dr. John Banhart (1958) studierte Physik an der Universität München und promovierte 1989 im Bereich Physikalische Chemie nach einem Forschungsjahr an der TU Wien. Seit 1991 arbeitet er am IFAM in Bremen. Er habilitierte sich 1998 an der Universität Bremen.

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

Dr.-Ing. Olaf Irretier (1968) studierte Produktionstechnik an der Universität Bremen und ist seit 1996 bei Nabertherm als Assistent der Geschäftsleitung tätig.

Josef Jöbstl (1952) ist als Entwicklungsingenieur bei Nabertherm im Geschäftsbereich Wärmebehandlung von Metallen tätig.

or belt will withstand high mechanical loading and weight. The furnace's control parameters can be adapted exactly to process requirements, thanks to which exact control of the temperature variation is possible. This not only leads to uniform heat treatment results but above all protects the heating elements from overload and so prolongs their life.

As Germany's leading furnace manufacturer, Nabertherm gained its ISO 9001 certification as far back as June 1993, according to which its production conforms to the highest world-wide quality standards. The modular structure of Nabertherm furnaces allows simple and cost-effective exchange of parts subject to wear such as the heating elements and thermocouples. The design of the foaming furnaces also took the following points into account:

- high level of plant reliability,
- high degree of production sequence rationalisation,
- high plant flexibility,
- low operating costs.

### Outlook

The foaming processes described have meanwhile matured to the point where conversion for industrial use is imminent. For this it is now only necessary to design the process technology for the mass production which will lead to much lower prices for aluminium foam products. The process technique chosen depends greatly on the component geometry to be produced and the foam properties desired. This offers the industry opportunities to supply new products and so to approach new sales markets.