

Pulvermetallurgische Fertigung von Bauteilen aus Aluminiumschaum

H. Gers, D. Brungs, K. Nijhof, F. Baumgärtner und H.-J. Mäurer

1 Kurzfassung

Die Schunk-Honsel-Entwicklungsgemeinschaft entwickelt und fertigt seit 1995 Bauteile aus Aluminiumschaum. Nach dem pulvermetallurgischen Verfahren werden Volumenbauteile und Sandwiche mit Aluminiumschaumkern gefertigt.

Wesentliche Prozessschritte bei der Herstellung von Aluminium-Schaumprodukten sind das Mischen und Kompaktieren der Pulver zu Pressbarren, das Strangpressen von Profilen und das Walzen von Blechen und Sandwichen. In einem letzten Fertigungsschritt wird das Vormaterial, ggfs. nach einer spanenden Bearbeitung oder Umformung, aufgeschäumt.

Volumenbauteile werden u. a. als Energieabsorber oder zur Erhöhung der Knick- und Beulsteifigkeit von Hohlprofilen eingesetzt. Sandwiche mit Aluminiumschaumkern finden z.B. im Karosseriebau als Strukturbauteile Anwendung.

2 Fertigung

Bei den verschiedenen Verfahren der Herstellung von Aluminiumschaum besitzen die pulvermetallurgischen Verfahrensvarianten eine sehr große Bedeutung. Sie bieten die größtmögliche Freiheit in der Werkstoffauswahl und der geometrischen Gestaltung der Bauteile.

Nach dem vom IFAM, Bremen entwickelten Verfahren zur Herstellung von Aluminiumschäumen [1, 2], lassen sich aus einer kompaktierten Aluminiumpulver/Treibmittel-Mischung sowohl Volumenbauteile als auch flächige Bauteile, wie z. B. Al-Sandwiche mit Aluminiumschaumkern, herstellen (Abb. 1).

Aluminiumpulver bzw. Aluminiumlegierungspulver werden mit pulverförmigen TiH_2 als Treibmittel gemischt. Die Pulvermischung wird anschließend durch Kompaktierungs-

verfahren wie Kaltisostatisches Pressen (CIP), Strangpressen und Walzen so verdichtet, dass ein porenfreies, gasdichtes Halbzeug entsteht. Je nach Aufgabenstellung kann das Halbzeug weiter umgeformt oder spanend bearbeitet werden.

Durch Erwärmung des Halbzeugs oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels setzt der Schäumungsprozess ein. Der vom Treibmittel freigesetzte Wasserstoff führt zur Porenbildung innerhalb des Metalls. Es entsteht ein überwiegend geschlossenporiger Schaumkörper mit dichter Außenhaut. Nach diesem Verfahren fertigt die Schunk-Honsel-Entwicklungsgemeinschaft Prototypen (Abb. 2).

Bauteile aus Aluminiumschaum zeichnen sich durch eine Reihe interessanter Eigenschaften aus, wie z. B. durch

- hohe spezifische Steifigkeit
- geringe Dichte
- großes Energieabsorptionsvermögen
- reduzierte elektrische und thermische Leitfähigkeit
- gute Recyclierbarkeit

3 Vormaterial

Das Aluminiumpulver bzw. Aluminiumlegierungspulver wird durch Verdüsen von Metallschmelzen der entsprechenden chemischen Zusammensetzung auf entsprechenden Anlagen gewonnen. Die chemische Zusammensetzung des Pulvers wird u. a. durch die gewünschte Festigkeit des Schaumes, das Schäumverhalten des Halbzeugs und der Recyclierfähigkeit des Schaumes vorgegeben.

Das Vermischen des Pulvers mit dem Treibmittel erfolgt in einem ausreichend dimensionierten Mischaggregat, so dass das Treibmittel und die Legierungsbestandteile homogen mit dem Al-Pulver vermischt ist. Durch kaltisostatisches Pressen (CIP) wird die Pulvermischung auf eine Dichte von 70–

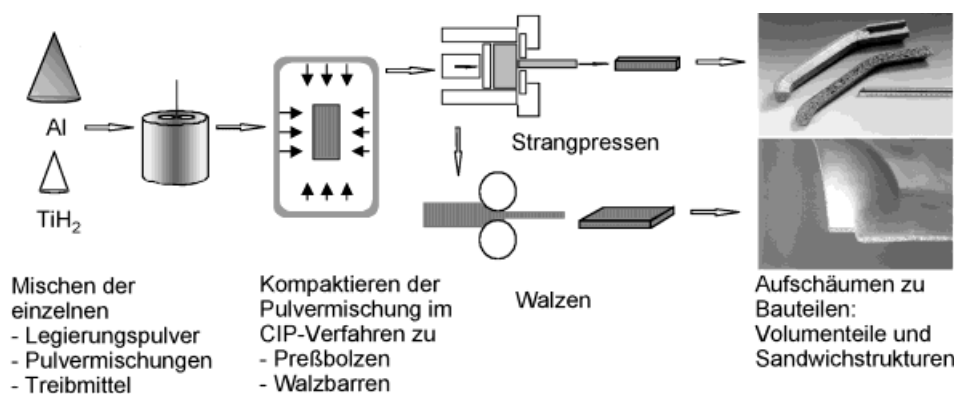


Abb. 1. Fertigungsschritte bei der Herstellung von Aluminium-Schaumprodukten

Fig. 1. Production Process of Aluminium Foam Products

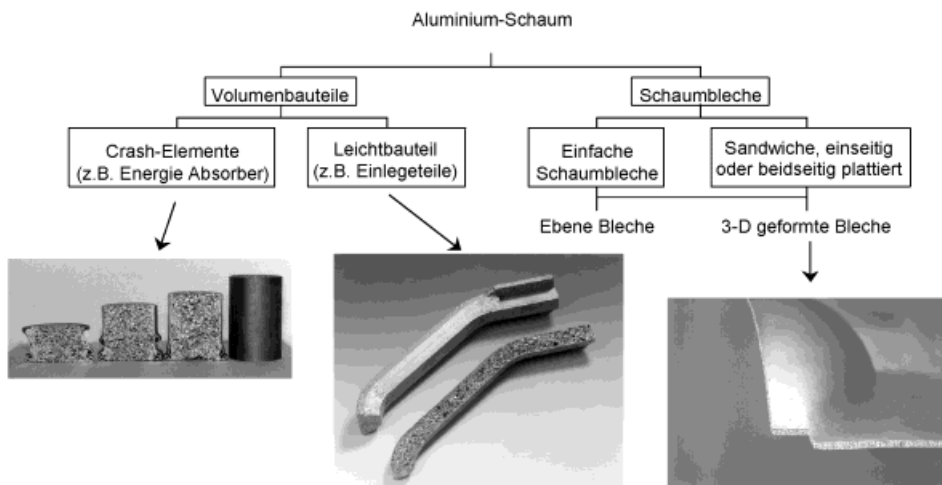


Abb. 2. Anwendungsbeispiele für Aluminiumschaumprodukte

Fig. 2. Applications of Aluminium Foam Products

85% der theoretischen Enddichte komprimiert. Hierzu wird die Pulvermischung in eine gummielastische Form umgefüllt und in einer Druckkammer durch Wasserdrücke bis zu 2000 bar gleichmäßig verdichtet.

Durch die Wahl geeigneter elastischer Formen werden während dieses Verdichtungsprozesses direkt, ohne weitere Nachbehandlung, zylindrische Barren gefertigt, die mittels Strangpressen weiterverarbeitet werden können [3, 4].

Abb. 3 zeigt das Gefüge eines Pressbarrens nach dem Verdichten im CIP-Verfahren. Deutlich sind die einzelnen Pulverteilchen zu erkennen, die im wesentlichen durch mechanische Verklammerung den Zusammenhalt des Pressbolzens bewirken.

4 Volumenbauteile

Beim Strangpressen wird das vorverdichtete Pulver des Pressbarrens durch ein formgebendes Werkzeug gepresst. Dies geschieht in der Regel bei erhöhten Temperaturen. Bei diesem Prozess wird das Pulver des Pressbolzens gestreckt und weiter verdichtet. Es entsteht ein dichtes Gefüge mit länglich gestreckten Pulverkörnern. In dieser Matrix sind die TiH_2 -Partikel eingelagert und durch ihre dunklere Umrandung zu erkennen (Abb. 4).

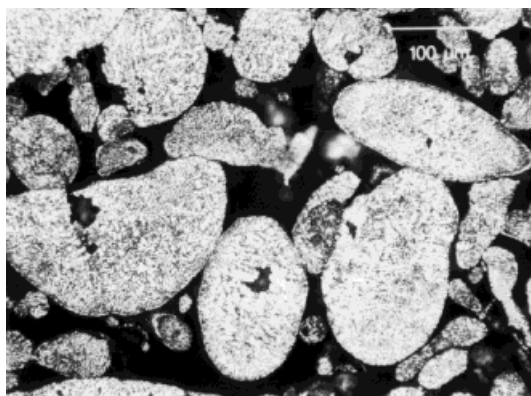


Abb. 3. Gefügaufnahme eines Pressbarrens [4]

Fig. 3. Microstructure of an Extrusion Billet [4]

Mit geeigneten Strangpresswerkzeugen kann aus den Pressbolzen aufschäumfähiges Vormaterial in vielfältigen geometrischen Formen gepresst werden. Abschnitte dieser stranggepressten Profile werden dann als Rohlinge beim Schäumen in geeigneten Schaumformen eingelegt.

Durch eine entsprechende Temperaturführung wird die Form mit dem Halbzeug auf Schaumtemperatur erwärmt. Der Schäumprozess wird dann durch Temperaturführung oberhalb der Zersetzungstemperatur des Treibmittels in Gang gesetzt. Die Schaumtemperaturen reichen bis oberhalb der Solidustemperatur der Halbzeugmatrix. Dort besitzt dieses die besten Schäumeigenschaften. Nach Erreichen des gewünschten Volumens wird der Al-Schaum ausreichend schnell abgekühlt. Auf diese Weise können Volumenbaukörper mit einer geschlossenen Aussenhaut und einer integralen Dichte zwischen $0,5$ bis $0,9 \text{ g/cm}^3$ gefertigt werden. Wegen der annähernd globularen Porenstruktur können Bauteile aus pulvermetallurgisch gefertigten Schäumen in guter Näherung als isotrop in ihrem mechanischen Verhalten angenommen werden.

Volumenbauteile können wegen ihrer geringen Dichte in Anwendungen, in denen es um Gewichtseinsparung geht, aber auch als Crash-Elemente zur Energieaufnahme eingesetzt werden. Weiterhin können sie als Einlegeteile wesentlich zur Knick- und Beulsteifigkeit von Hohlprofilen beitragen. Dies verdeutlicht das Beispiel in Abb. 5 [5].

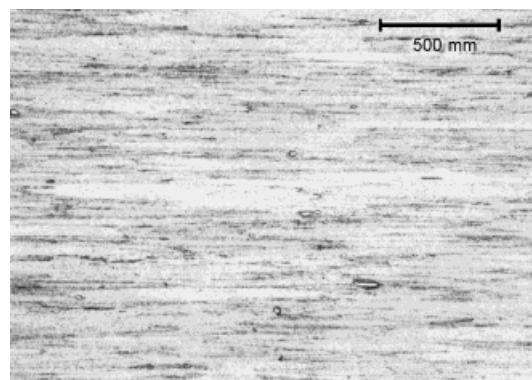
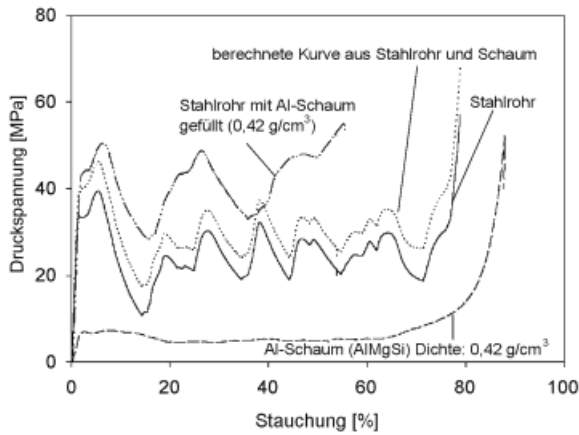


Abb. 4. Gefügaufnahme eines stranggepressten Profils [4]

Fig. 4. Microstructure of an extruded Profile [4]



Stahlrohr:
50 mm x 1 mm x 75 mm
Wärmebehandlung "wie geschäumt"

Al-Schaum:
48 mm x 76 mm
Dichte: 0,42 g/cm³
Wärmebehandlung "wie geschäumt"

Prüfparameter:
Prüfgeschwindigkeit: 10 mm/sec

Abb. 5. Stauchversuch an Aluminiumschaumkörpern

Fig. 5. Compression Test with Aluminium Foam Parts

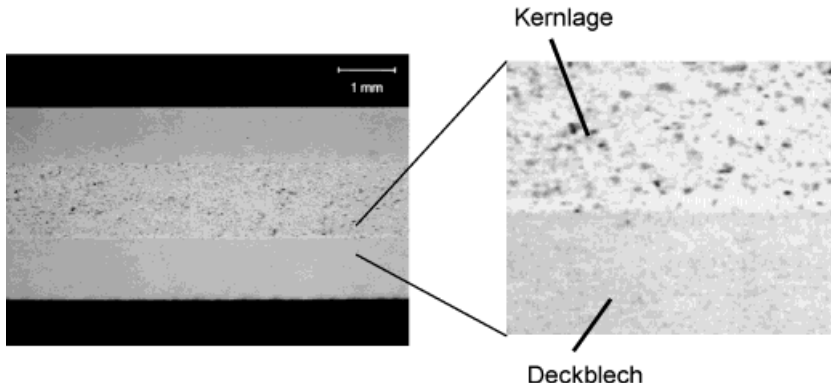


Abb. 6. Walzplattierter Sandwich mit aufschäubarer Kernlage und nicht aufschäumenden Deckblechen

Fig. 6. Plated Sandwich with expandable Core Layer and not expandable Surface Layer

In einem Stahlrohr ($\varnothing 50 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$, 75 mm hoch) wurde Aluminiumvormaterial aufgeschäumt und anschließend zusammen gestaucht. Dabei wurde die Kraft-Verformungskurve aufgezeichnet. Zu Vergleichszwecken wurde jeweils eine zylindrische Al-Schaumprobe gleicher Abmessungen ohne Außenrohr gestaucht. Ebenso wurde ein Stahlrohr ohne Schaumfüllung gestaucht, das jedoch zuvor einer „Wärmebehandlung“ ausgesetzt wurde, die einem Schäumprozess entspricht.

In dem Diagramm ist die Stauchkurve für reinen Aluminiumschaum als unterste Kurve dargestellt. Die reine Addition der Stauchkurven des Al-Schaums und der des leeren Rohres erreichen nicht die Werte der Stauchkurve des mit Schaum gefüllten Rohres. Hierfür sind zusätzliche Wechselwirkungen zwischen dem Schaum und dem Rohr verantwortlich. Z.B. verformt sich das gefüllte Rohr beim Stauchen nur nach außen. Eine Verformung nach innen wird durch den Schaum behindert. Diese Umlenkung des Rohres führt im wesentlichen zu dem zusätzlichen Anstieg des Kraftbedarfes beim Stauchen.

Breite des Sandwichs wird durch eine entsprechende Anzahl nebeneinander eingelegter Flachprofile erreicht. Bei Verformung unter Druck kommt es zwischen den Materialien der Deckbleche und den Strangpreßprofilen zu einem metallischen Verbund (Abb. 6). Der Einsatz zusätzlicher Hilfsmittel, z.B. Kleber, ist nicht erforderlich. Dadurch sind diese Al-Sandwiche bis zu Temperaturen von ca. 600 °C einsatzfähig.

Vor dem abschließenden Fertigungsschritt Schäumen ist ein Umformen der Sandwiche z.B. durch Tiefziehen möglich. Das Umformverhalten der aufschäumbaren Sandwiche ist mit dem konventioneller Aluminiumbleche durchaus vergleichbar. Dreidimensional geformte Sandwiche wurden auf

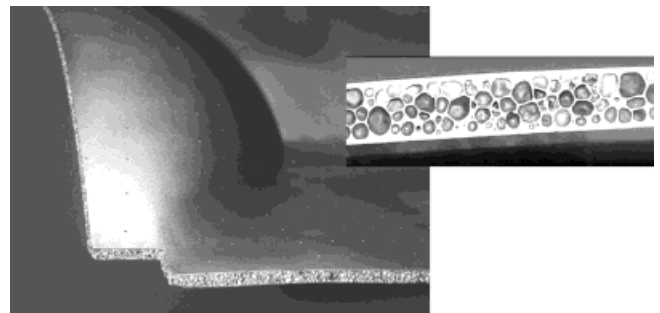


Abb. 7. Dreidimensional geformter Al-Sandwich mit Schaumkern
Fig. 7. Three-dimensional formed Aluminium-Sandwich with Foam Core

5 Aluminium-Sandwiche

Aluminium-Sandwiche mit Aluminium-Schaumkern (AFS = Aluminium Foam Sandwiche) werden durch Walzplattieren gefertigt. Zwischen zwei Deckblechen aus nicht aufschäumbar Aluminium wird aufschäumbares Halbzeug in Form von Strangpressprofilen eingelegt. Die erforderliche

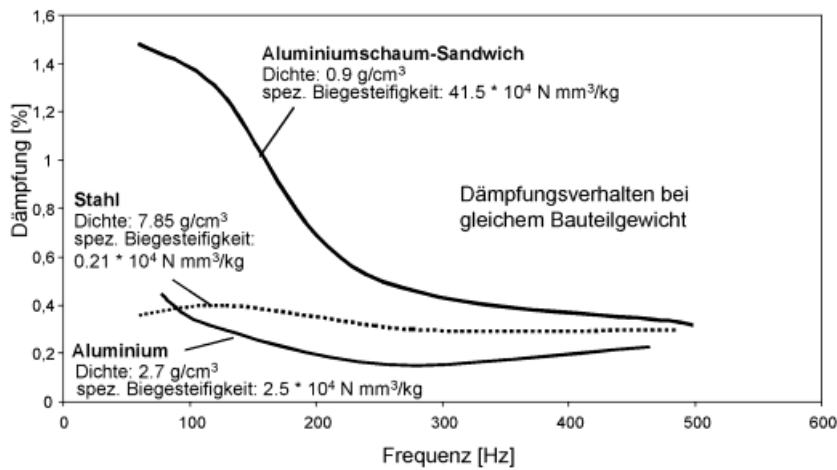


Abb. 8. Dämpfungseigenschaften verschiedener Werkstoffe [6]

Fig. 8. Damping characteristics of different materials [6]

Pressen für Al-Halbzeug umgeformt und anschließend geschäumt. Die Kontur des umgeformten Bleches bleibt, sofern sie beim Schäumen unterstützt wird, im wesentlichen erhalten (Abb. 7).

Untersuchungen der Fa. Karmann [6] haben gezeigt, dass es z. B. im Automobilbau durch Substitution eines Stahlbleches durch ein Aluminium-Schaum-Sandwich möglich ist, bei gleicher Bauteilsteifigkeit eine Gewichtsersparnisse von bis zu 25% zu erzielen. In wesentlichen Bereichen der Karosserie eines Fahrzeuges können somit Sandwiches mit Aluminiumschaumkern als Strukturteile eingesetzt werden.

Innerhalb dieser Untersuchungen ist auch das Dämpfungsverhalten von Sandwiches mit Aluminiumschaumkern analysiert worden. Im Frequenzbereich von 50–400 Hz zeigen diese ein deutlich besseres Dämpfungsverhalten als Stahl oder unplattierter Aluminiumschaum (Abb. 8). Spezielle Dämpfungsmaßnahmen können daher u. U. reduziert werden.

Die Bearbeitungsmöglichkeit von Sandwiches mit Aluminiumschaumkern ist ein weiteres wesentliches Beurteilungskriterium für diese Werkstoffe. Insbesondere bei dreidimensional geformten Sandwiches ist die Möglichkeit des Zerschneidens und das Verbinden mit anderen Bauteilen von Bedeutung. Als Trennverfahren eignen sich neben den mechanischen Verfahren insbesondere das Laserstrahlschneiden mit CO₂-Laser und das Wasserstrahlschneiden mit Abrasivzusätzen. Für die Anfertigung von Prototypen konnten beide Verfahren erfolgreich bis zu Sandwichdicken von 30 mm eingesetzt werden.

Als gängige Fügetechniken werden Schrauben und Nieten bei Al-Sandwiches eingesetzt. Daneben sind alle für Aluminium geeignete Kleber, z. B. Epoxidharzkleber, anwendbar. Wie bei allen Klebeverbindungen ist auch hier eine geeignete Oberflächenvorbehandlung Voraussetzung.

Bei thermischen Verfahren zum Fügen der Sandwiches wird der Prozess durch die Kernlage aus Aluminiumschaum noch positiv unterstützt. Dadurch dass eine reduzierte Wärmeabfuhr durch den Schaumkern erfolgt, kann die Wärmeenergie konzentrierter in die Fügestelle eingebracht werden. Es können die für Aluminiumwerkstoffe üblichen Lichtbogen-schweißverfahren und CO₂-Laser eingesetzt werden.

Aluminium-Sandwiches eignen sich auch für eine Oberflächenbehandlung durch Lackieren. Bei Tauchlackierungen der Sandwiches ist allerdings darauf zu achten, dass die Ränder abgedichtet werden. In den seitlich freigelegten Poren der Sandwiches können Flüssigkeiten der verschiedenen Tauchbä-

der u. U. schlechter wieder abfließen und eine spätere Lackierung nachteilig beeinflussen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Prototypenbauteile aus und mit Aluminiumschaum werden bei der Schunk-Honsel-Entwicklungsgemeinschaft auf der pulvermetallurgischen Fertigungsroute entwickelt und hergestellt. Die Fertigung basiert auf den Prozessschritten Pulvermischen, Bolzenfertigung, Strangpressen, Walzen und Schäumen.

Aufschäumbares Halbzeug ist als Profil, Blech oder Sandwich verfügbar. Es sind geschäumte Volumenkörper sowie Sandwiches mit Aluminiumschaumkern erhältlich, die z. B. durch Tiefziehen in eine gewünschte Kontur umgeformt werden können. AFS können nach dem Aufschäumen durch Trennen, Fügen und Lackieren weiter bearbeitet werden.

Durch die Kombination verschiedener Eigenschaften sind mit Aluminiumschaum innovative Leichtbaukonstruktionen möglich. In Zukunft werden Produkte aus und mit Aluminiumschaum wegen der vollständigen Recycelbarkeit aus ökologischer Sicht immer interessanter werden.

7 Literatur

1. Baumeister, J., Patent DE 4018360, 1990.
2. Baumeister, J., Patent DE 4101630, 1991.
3. Cohrt, H., Baumgärtner, F., Brungs, D., Gers, H., in Metallische Schäume (Hrsg.: J. Banhart), Verlag MIT, Bremen, 1997.
4. Cohrt, H., Baumgärtner, F., Brungs, D., Gers, H., in Strangpressen (Hrsg.: G. Fischer), DGM Verlag, Frankfurt, 1997.
5. Baumgärtner, F., Gers, H., in Metal Foams (Hrsg.: J. Banhart et al.), Verlag MIT, Bremen, 1999.
6. Seeliger, H.-W., in Metal Foams (Hrsg.: J. Banhart et al.), Verlag MIT, Bremen, 1999.

Anschrift: H. Gers, D. Brungs, K. Nijhof, Honsel GmbH & Co KG, Meschede, F. Baumgärtner, H.-J. Mäurer, Schunk Sintermetalltechnik GmbH, Heuchelheim

Eingangsdatum: 15.3.00

[T 182]