

Frontmodule für Schienenfahrzeuge aus Aluminiumschaumsandwich – Fertigungstechnologien zur Bauteilherstellung

Bernd Viehweger, Alexander Sviridov
Lehrstuhl Konstruktion und Fertigung

Kurzfassung

Neue innovative Werkstoffe ermöglichen, Schienenfahrzeuge mit verbesserter Crashesicherheit und geringem Gewicht herzustellen. In dem Beitrag werden Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Aluminiumschäume für craschere Frontmodule von Schienenfahrzeugen“ beschrieben, die gemeinsam vom Anwender Bombardier Transportation, dem Bauteilhersteller Wilhelm Schmidt GmbH, dem Simulationsspezialist AMIC Angewandte Micromesstechnik GmbH sowie dem Technologieentwickler Lehrstuhl Konstruktion und Fertigung der BTU Cottbus erarbeitet wurden. Ziel des Vorhabens war es, das Frontmodul für den ITINO-Triebzug aus Aluminiumschaumsandwich herzustellen. Dabei sollte die technische sowie wirtschaftliche Machbarkeit von Frontmodulen aus diesem innovativen Werkstoff nachgewiesen werden.

Abstract

The new innovative materials enable the production of rail vehicles with excellent crash safety as well as with less weight. This article presents the results of the research project „Crash-safe front modules for rail vehicles from aluminium foam“. An excellent team of the project consists of user, manufacturer and developer. The partners are Bombardier Transportation, Wilhelm Schmidt Co., AMIC Angewandte Micromesstechnik Co. and Chair of Design and Manufacturing of The Technical University of Cottbus. The main object of this research project was developing of technology for production of front module for ITINO-Trainset from aluminium foam sandwich. Thereby the technical and economical feasibility of front modules made from this innovative material had to be demonstrated.

Einleitung

Die Anforderungen im Fahrzeugbau bezüglich Crashesicherheit, Gewichtsminimierung, Schalldämmung oder Wärmedämmung nehmen ständig zu. Ein Weg diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist der Einsatz innovativer Schichtverbunde, die bezüglich ihres Eigenschaftsprofils wie Steifigkeit, Gewicht, Energieabsorption konventionellen monolithischen Werkstoffen überlegen sind. Für einen wirtschaftlichen Einsatz von Bauteilen aus Schichtverbunden sind ihren Eigenschaften angepasste Fertigungstechnologien zu entwickeln.

Im Rahmen des Projektes „Aluminiumschäume für craschere Frontmodule von Schienenfahrzeugen“¹ werden Aluminiumschaumsandwichbleche untersucht, die gegenüber konventionellen Blechwerkstoffen viele Vorteile bieten, wie deutlich höhere Steifigkeit, sehr gute Energieabsorptionseigenschaften, hervorragende Wärme- und Schalldämmung sowie ein niedriges spezifisches Gewicht. Die Partner des Verbundvorhabens, der Anwender Bombardier Transportation, der Bauteilhersteller Wilhelm Schmidt GmbH, der Simulationsspezialist AMIC Angewandte Micromesstechnik GmbH sowie der Technologieentwickler Lehrstuhl Konstruktion und Fertigung der BTU Cottbus, hatten das Ziel, zur Erhöhung der Crashesicherheit und Minimierung des Gewichts unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit Aluminiumschaumsandwich im Schienenfahrzeugbau als Material für das Frontmodul des Triebzuges ITINO einzusetzen.

Aluminiumschaumsandwich

Bei Aluminiumschaumsandwichen handelt es sich um einen dreischichtigen Verbund, wobei die Kernlage im unaufgeschäumten Zustand aus dem mit Treibmittel (TiH_2) vermischten und verpressten Aluminiumpulver besteht und als Deckbleche konventionelle Aluminiumbleche (Al-Legierung 6060) verwendet werden. Die drei Schichten werden zu einem Sandwichblech walzplattiert, das als Halbzeug durch Schneiden, Umformen und Aufschäumen weiter zu einem Bauteil verarbeitet werden kann. Das Aufschäumen des Sandwichblechs erfolgt in speziellen Öfen durch Aufheizen auf die Aufschäumtemperatur, wobei die Kernlage auf Enddicke expandiert. Nach der Aufschäumoperation entsteht ein Aluminiumschaumsandwich, das aus zwei Aluminiumdeckblechen und einer Kernlage aus Aluminiumschaum besteht (Abb. 1).

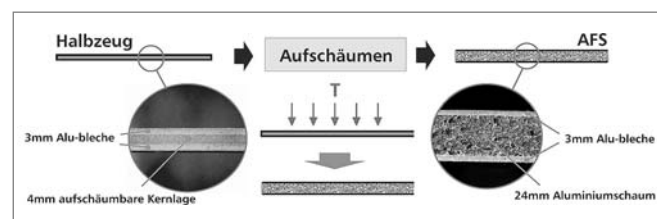


Abbildung 1:
Aufbau des Sandwichblechs vor und nach dem Aufschäumprozess

¹ Die Untersuchungen wurden im Rahmen des BMBF-InnoRegio-Verbundprojektes durchgeführt und durch RIO e. V. – Regionales Innovationsbündnis Oberhavel – koordiniert. Die Autoren danken dem BMBF und dem RIO e. V. für die Förderung und für die Koordination des Projektes.

Auslegung des Frontmoduls durch Simulation

Zur Auslegung des Frontmoduls aus Aluminiumschaumsandwichen wurden Simulationsexperimente durchgeführt, die ergaben, dass Deckbleche mit einer Dicke von je 3 mm und eine Aluminiumschaum-Kernlage von 24 mm die Anforderungen bezüglich Crashesicherheit und Belastungen erfüllen. Für die Simulationen wurden zunächst die Materialkennwerte im Druckversuch gewonnen. Die Ergebnisse des Druckversuchs wurden dann mit einer guten Übereinstimmung mit dem entsprechenden Simulationsexperiment verglichen (Abb. 2).

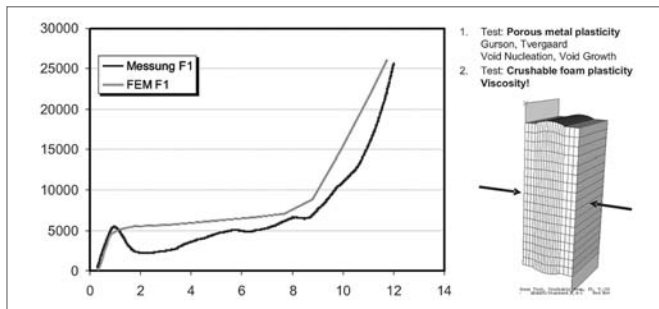


Abbildung 2:
 Vergleich der berechneten Werte mit dem Versuch

Anhand eines CAD-Modells des Frontmoduls wurde das Simulationsmodell erstellt (Abb. 3). Mit Simulationsexperimenten wurden am Frontmodul die vorgeschriebenen genormten Lastfälle simuliert, um das Crashverhalten des Bauteils zu ermitteln. Abb. 3 stellt die resultierenden Verformungen des Bauteils sowie die in der Seitenwand entstandenen Spannungen durch angebrachte Lasten, beispielsweise für einen Lastfall (400kN Druck auf Kopfbereich) dar.

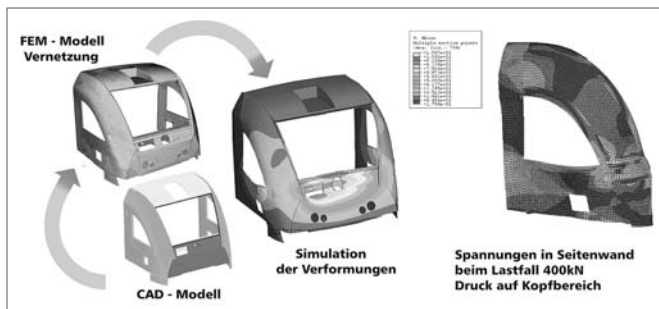


Abbildung 3:
 Erstellung eines Simulationsmodells und simulierte Crashverformungen

Grundlegende Technologieentwicklung – Herstellung eines Probeteils

Für den Einsatz von Frontmodulen aus Aluminiumschaum ist eine robuste und wirtschaftliche Prozesskette für die Produktion von 3D-Formteilen erforderlich. Die Herstellung von dreidimensional gekrümmten Bauteilen erfordert vor dem Aufschäumen eine zusätzliche Umformoperation und die Entwicklung der hierfür erforderlichen Fertigungstechnologien und Werkzeuge. Für erste Untersuchungen und Erprobungen wurde ei-

ne dreidimensional gekrümmte Probegeometrie entwickelt. Hierzu wurde das Frontmodul formbezogen analysiert und ein Probeteil konstruiert, das kennzeichnende Formelemente des Frontmoduls aufweist.

Für die Umformung des Probeteils wurde ein Umformwerkzeug entwickelt und hergestellt. Das Werkzeug besteht aus Stempel und Matrize, ein Niederhalter ist nicht erforderlich. Stempel und Matrize wurden aus dem Vollen gefräst (Abb. 4). Das Umformen der Aluminiumsandwich erfolgt bei 400°C. Mit dem Werkzeug wurde in einer Presse das Umformen erprobt und erste Teile geformt. Dabei sollte das Verhalten der Sandwichbleche analysiert werden, vor allem war zu überprüfen, inwieweit beim Umformen eine Ablösung an den Grenzflächen des Sandwiches auftritt. Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass auch bei komplexeren Geometrien ein problemloses Umformen von Sandwichblechen möglich ist.



Abbildung 4:
 Umformwerkzeug und ein umgeformtes Probeteil aus dem Sandwichblech

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde das Aufschäumen des umgeformten Probeteils untersucht. Da der Aufschäumprozess bei einer Temperatur nahe der Schmelztemperatur der Deckbleche stattfindet und dadurch das Bauteil keine hohe Festigkeit hat, muss das Bauteil, um Formabweichungen zu vermeiden, beim Aufschäumen durch eine Form unterstützt werden. Das massive Umformwerkzeug ist hierfür ungeeignet, da die Erwärmung zeitaufwändig ist und die Handhabung aufgrund des großen Gewichts erschwert wird.

Zum Aufschäumen wurde daher ein Aufschäumwerkzeug aus Stahlblech mit 5 mm Dicke hergestellt. In diesem Formwerkzeug wird das Bauteil in den Ofen eingelegt und aufgeschäumt. Anschließend erfolgt das Abkühlen auf Raumtemperatur. Hierdurch wurde die geforderte Enddicke des Bauteils von 30 mm erreicht. Die Analyse des Schaums ergab eine homogene Porengröße sowie eine gleichmäßige Porenverteilung (Abb. 5).

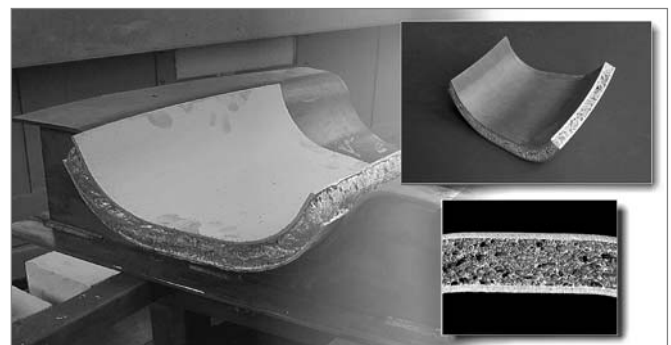


Abbildung 5:
 Das aufgeschäumte Probeteil aus Aluminiumschaumsandwich

Optimierung der Fertigungstechnologie – Herstellung des Frontmodulsegments

Nachdem die technische Machbarkeit mit dem Probeteil nachgewiesen werden konnte, war die Entwicklung einer robusten und wirtschaftlichen Fertigungstechnologie mit geringen Investitionen und Fertigungskosten erforderlich. Die Beschaffung einer kostenintensiven Umformpresse, das aufwändige 3D-Fräsen der Umformwerkzeuge aus dem Vollen sowie die Herstellung eines separaten Aufschäumwerkzeuges verhindern den wirtschaftlichen Einsatz dieses innovativen Werkstoffs. Um aus Aluminiumschaumsandwichen kostengünstig und wettbewerbsfähig Bauteile fertigen zu können, musste die Fertigungstechnologie optimiert werden. Zur Erprobung der optimierten Fertigungstechnologie an einem möglichst praxisnahen Teil wurde ein Segment der A-Säule des realen Frontmoduls im Maßstab 1:5 verwendet.

Bei der optimierten Fertigungstechnik bestehen Stempel und Matrize des Umformwerkzeugs aus einer Schweißkonstruktion, aufgebaut aus umgeformten 10 mm Stahlblechen, die durch 3D-Biegen hergestellt werden (Abb. 6a/b). Dies ist wesentlich kostengünstiger als ein aus dem Vollen gefrästes Werkzeug. Da das Umformen bei 400 °C erfolgt sind die Umformkräfte gering und es kann anstatt einer Presse eine wesentlich kostengünstigere und leicht transportable 50t-Druckvorrichtung eingesetzt werden.

Das Aufschäumen erfolgt in dem Umformwerkzeug, da das aus Stahlblechen geschweißte Werkzeug deutlich leichter und damit besser handhabbar ist, als ein massives Werkzeug. Die geringe Masse des aus Stahlblechen aufgebauten Werkzeugs ermöglicht auch ein wesentlich schnelleres Aufheizen auf die Aufschäumtemperatur.

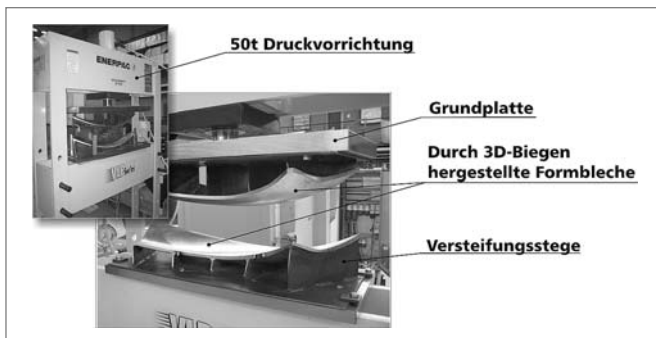


Abbildung 6a:
Umformwerkzeug in einer Druckvorrichtung

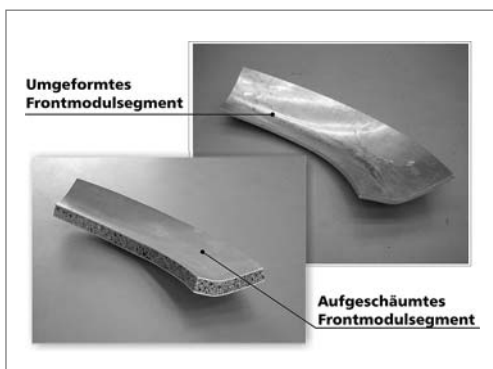


Abbildung 6b:
Umgeformtes und aufgeschäumtes Frontmodulsegment

Herstellung des Demonstrators

Die anhand von Probeteil und Frontmodulsegment entwickelte Fertigungstechnologie wurde durch die Herstellung eines Demonstrators – ein halbes Frontmodul in Originalgröße - erprobt. Aufgrund der Größe des Frontmoduls musste es in einzelne Segmente aufgeteilt werden. Die Segmente werden geformt, aufgeschäumt, an den Rändern beschnitten und gefügt. Zum Fügen der Aluminiumschaumsandwichen sind gängige Schweißverfahren (MIG, WIG) anwendbar. Dabei werden ausschließlich die Deckbleche verschweißt, wobei bei entsprechenden Schweißparametern der Schaum unbeschädigt bleibt.

Den im Rahmen des Vorhabens hergestellten Demonstrator aus Aluminiumschaumsandwich zeigt Abb. 7. Mit dem Demonstrator konnte nachgewiesen werden, dass Frontmodule aus Aluminiumsandwichen wirtschaftlich hergestellt werden können. Die Vorteile der Technologie, wie

- keine kostenintensive Presse notwendig – Umformen in einer 50t-Druckvorrichtung,
- Anwendung eines kostengünstigeren Umformwerkzeugs aus geformten Stahlblechen,
- kein separates Aufschäumwerkzeug notwendig – Aufschäumen im Umformwerkzeug

bewirken, dass die Herstellkosten gegenüber dem glasfaserverstärktem Bauteil je nach Stückzahl gleichgroß oder bis zu 10% günstiger sind. Ein Frontmodul aus Aluminiumschaum ist gegenüber einem Frontmodul aus glasfaserverstärktem Kunststoff um etwa 20% leichter. Weitere Vorteile des aus Aluminiumsandwichen hergestellten Frontmoduls sind wesentlich höhere Crashesicherheit, Schwingungsdämpfung und Wärmedämmung, bessere Recyclingfähigkeit sowie günstigere Reparaturmöglichkeiten.



Abbildung 7:
Demonstrator „Frontmodul“ in Originalgröße (Oberfläche gestrahlt und lackiert)

Literatur

- [1] **SEELIGER, H.-W.:** Aluminium Foam Sandwich (AFS) Ready for Market Introduction; In: Advanced Engineering Materials, 6/2004
- [2] **NEUGEBAUER, R.; HIPKE, T.; HOHLFELD, J.; THÜMLER, R.:** Ein Weg zu leichteren Bauteilen; In: Konstrukteur, 12/2004
- [3] **J. BAUMEISTER, D. LEHMHUS:** Commercially available products made of PM aluminium foams – status and prospects; In: Banhart, J.; Fleck, N. A.; Mortensen, A.; (Hg.): Cellular Metals: Manufacture, Properties, Applications, Verlag MIT Publishing, Berlin 2003
- [4] **N. N. ALUMINIUMSCHAUM:** Aluminium Zentrale e. V., Merkblatt W 17 1. Auflage, 1999



Prof. Dr.-Ing. Bernd Viehweger Ab 1974 Studium des Maschinenbaus an der Technischen Universität Berlin und von 1979 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikanlagen der TU-Berlin. 1985 Promotion bei Prof. Spur. Anschließend bis 1987 am Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik Abteilungsleiter für Systemplanung. Von 1987 bis 1994 Leitung der Konstruktion und Entwicklung bei der Fritz Werner Werkzeugmaschinen AG. Von 1995 bis 1999 Leitung der Konstruktion und Entwicklung bei der Müller Weingarten AG (Umformmaschinen und -werkzeuge). Seit 1999 Leiter des Lehrstuhls Konstruktion und Fertigung an der BTU Cottbus und seit 2000 zusätzlich Geschäftsführer des Forschungszentrums für Leichtbauwerkstoffe „Panta Rhei“.



Alexander Sviridov wurde am 29. Oktober 1980 in Strunino, Russland geboren. Nach dem Schulabschluss im Jahr 1997 studierte er am Moskauer Staatlichen Institut für Stahl und Legierungen. Seine Fachrichtung war Umformung der Stähle und spezieller Legierungen. Im Rahmen des Doppeldiplomprogramms setzte er das Studium am Institut für Metallformung der TU Bergakademie Freiberg fort, wo er seine Diplomarbeit verteidigte. Seit 2003 ist er Mitarbeiter des Lehrstuhls Konstruktion und Fertigung. Schwerpunkte seiner Tätigkeit sind Leichtbauwerkstoffe sowie Entwicklung von Technologien zur Herstellung von Leichtbauteilen. Zurzeit beschäftigt er sich mit Aluminiumschäumen. Dieses Thema ist Schwerpunkt seiner Promotionsarbeit.