

Der Schäumprozeß von Aluminium[#]

Heiko Stanzick, Isabel Duarte^{*}, John Banhart
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung

Kurzfassung

Schäume aus Aluminium und Aluminiumlegierungen werden durch das Aufschmelzen von Pulverpreßlingen hergestellt. Die Kinetik des Aufschäumprozesses wird mit Hilfe eines speziell für diesen Zweck aufgebauten Laserdilatometers („Expandometer“) gemessen. Dieses gestattet eine genaue Bestimmung des Expansionsverlaufs, des Aufschäummaximums und des Kollapsverhalten eines expandierenden Aluminiumschaumes und ist damit ein wichtiges Werkzeug zur Optimierung der Prozeßparameter. Nachdem in der Vergangenheit der Einfluß von Preßparametern untersucht wurde, wird nun der Einfluß des Treibmittelgehaltes auf den Schäumprozeß untersucht. Desweiteren werden mit Hilfe der REM verschiedene Aufheizstadien des Aluminiumhalbzeugs untersucht. Die Bildung einer Legierung aus nicht elementaren Metallpulvern kann damit und mit Hilfe der EDX-Analyse untersucht werden.

1. Einleitung

Metallschäume können mit Hilfe verschiedener Methoden hergestellt werden [1]. Eine pulvermetallurgische Methode zur Herstellung von geschlossenzelligen Metallschäumen wurde vor einigen Jahren entwickelt. Der Prozeß besteht aus einem Mischen des Metallpulvers mit einem Treibmittelpulver und anschließendem Kompaktieren zu einem dichten, schäumbaren Halbzeug. In einem letzten Schritt expandiert dieses Halbzeug, wenn es über den Schmelzpunkt hinaus erwärmt wird. Dieses Erwärmen überführt das Metall in einen semi-flüssigen, viskosen Zustand. Gleichzeitig wird Gas durch das sich zersetzende Treibmittel freigesetzt, so daß eine hochporöse Struktur entsteht [2]. Metallschäume wurden bisher in Bezug auf Morphologie, mechanische Eigenschaften und Eigenschaften, die für potentielle Anwendungen wichtig sind, charakterisiert. Es gibt aber nur eine kleine Anzahl von Untersuchungen, die sich mit der Metallschaumbildung und deren zeitlicher Entwicklung im flüssigen Zustand beschäftigen [3,4]. In dieser Arbeit wird sowohl der Einfluß des Treibmittelgehaltes auf den Schäumprozeß von AlSi7 als auch die Makro- und Mikrostruktur der AlSi7-Schaumzellwände untersucht.

2. Verfahren und Werkstoff

Zur Durchführung von Schäumversuchen mit AlSi7-Halbzeug wurden zunächst die Metallpulver Aluminium und Silizium mit dem Treibmittel Titanhydrid in einem Taumelmischer homogen vermischt. In einem weiteren Schritt wurde das gemischte Pulver bei 450°C und einem Druck von 60 kN vorgepreßt, um es bei 90 kN und gleicher

[#] Manuskript veröffentlicht in: Mat.-wiss. u. Werkstofftech. **31**, 409-411 (2000)

^{*} Gegenwärtige Adresse: Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI), Lisboa, Portugal

Temperatur heiß-isostatisch zu pressen. Aus den so erhaltenen Preßlingen wurden Tabletten (Höhe=9mm, $\varnothing=31$ mm) erstellt, die in dem Laserexpandometer aufgeschäumt wurden (**Abb. 1**). Hierzu wird die Tablette in eine Stahlform gelegt, welche sich wiederum in der Mitte eines Quarzglasrezipienten befindet. Der Metallschaum bildet sich nach Herumklappen eines vorgeheizten Ofens um den Rezipienten und der sich daran anschließenden Aufheizung der Preßtablette. Am oberen Ende des Rezipienten befindet sich ein Lasersensor, mit dem die Expansion des Metallschaums gemessen wird. Zusätzlich zu der Volumenmessung werden mit Hilfe von Thermoelementen die Ofentemperatur und die Proben temperatur erfaßt. In dieser Studie wird $V(t)$ bei Variation des Treibmittelgehaltes gemessen. Zusätzlich werden Proben bei unterschiedlichen Punkten der $V(t)$ -Kurve aus dem Rezipienten herausgenommen und mit Hilfe des REM (kombiniert mit EDX) und Lichtmikrokops untersucht.

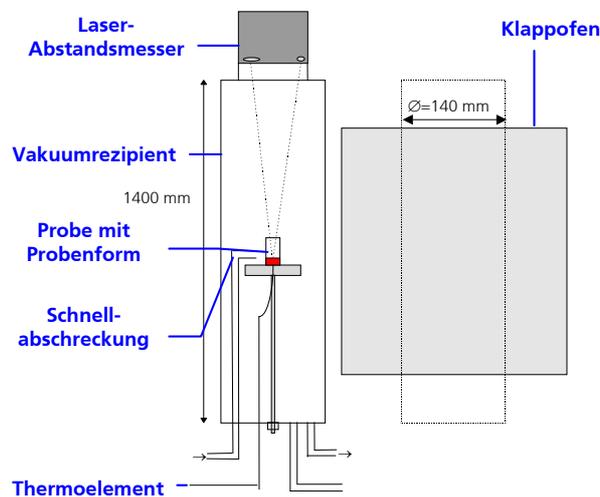


Abbildung 1: Aufbau des Laserexpandometers [4].

3. Ergebnisse

3.1 Einfluß des Treibmittelgehaltes

Der Einfluß des Treibmittelgehaltes auf den Schäumprozeß ist in **Abbildung 2(a)** und **(b)** zu sehen. Bei reinen Metallpulver-Preßlingen (ohne Treibmittelzusatz) kann während des Aufwärmprozesses keine Expansion beobachtet werden, die sich von der bekannten Festkörperexpansion unterscheidet. Schon bei Zugabe von 0.1 Gewichtsprozent Titanhydrid zum Pulverpreßling ist jedoch genügend Treibmittel vorhanden, um das Halbzeug um den Faktor 3 aufzuschäumen. Wird in weiteren Versuchen der Treibmittelgehalt erhöht, so läßt sich eine Änderung des

Expansionsverhaltens feststellen (**Abb. 2(a)**). Während bei Gehalten bis 0.5 Gew.-% der Schaum nach einer gegebenen Zeit das Expansionsmaximum erreicht und dort verbleibt, zeigt sich für höhere Gehalte hingegen ein Überschießen der Expansion, die nach einigen Minuten von einem partiellen Kollaps abgelöst wird (**Abb. 2(b)**).

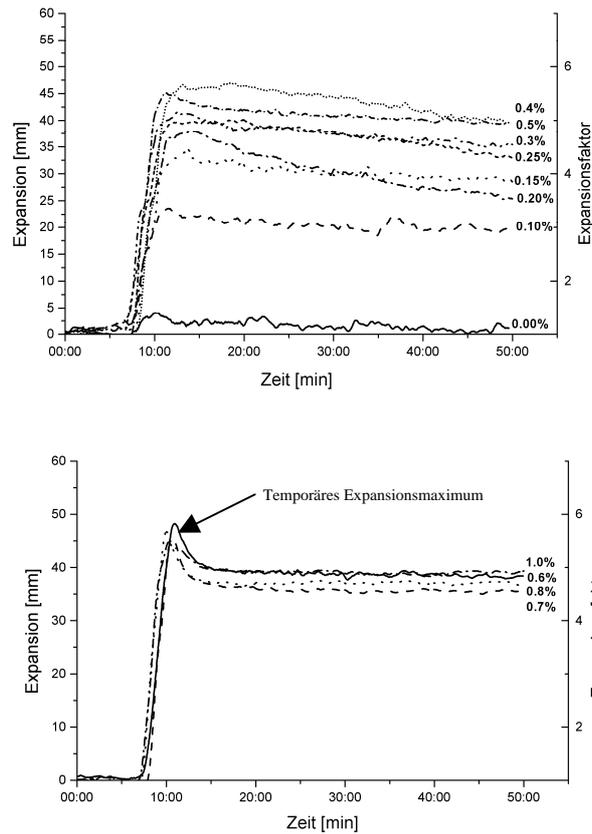


Abbildung 2: Auswirkungen des Treibmittelgehaltes auf die Expansion von AlSi7-Halbzeug. (a) Treibmittelgehalt 0 – 0.5 Gew.-% TiH₂, (b) 0.6 – 1.0 Gew.-% TiH₂

3.2 Makro- und Mikrostruktur in verschiedenen Stadien der Schaumentwicklung

Die Entwicklung der Makrostruktur von AlSi7-Schäumen wurde an verschiedenen Proben untersucht, bei denen der Aufheizprozeß zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterbrochen wurde. Durch Funkenerosion wurden Querschnitte der Schaumzylinder hergestellt (**Abbildung 3**). Beim Schäumprozeß vom ursprünglichen Halbzeug (**Abb. 3, P**) bis zum kollabierten Schaum (**Abb. 3, K**) kann man folgende Effekte beobachten: Zunächst bilden sich Risse, die sich senkrecht zur Kompaktierungsrichtung ausdehnen.

Diese Anisotropie verschwindet mit zunehmendem Ausgasen des Treibmittels. Ab dem Erreichen des Expansionsmaximums (**Abb. 3, G**) kann man den Drainageeffekt (das Fließen des flüssigen Metalls von den Zellwänden zu den Zellecken und das Weiterfließen von diesen zum Zylinderboden) beobachten. In **Abb. 3, K** sieht man einen stark kollabierten Schaum.

Um die Entwicklung der Zellwand-Mikrostruktur an diesen AlSi7-Schäumen zu untersuchen, wurden REM-Untersuchungen dieser Zellwände vorgenommen (linke Spalte in **Abbildung 4**). Desweiteren wurden Lichtmikroskopaufnahmen der Zellwände durchgeführt (**Abbildung 4**, mittlere Spalte). Mit einer EDX-Analyse wurde die Siliziumverteilung bestimmt (**Abbildung 4**, rechte Spalte). Im Zustand **A** sieht man die Siliziumpartikel (mittlere Spalte, dunkel grau) in der Aluminiummatrix (weiß) eingebettet. Man kann einige Poren (schwarz) entdecken. Die Temperatur ist noch unterhalb der eutektischen Linie von 577°C und deshalb ist noch keine flüssige Phase vorhanden. Nach 77 Sekunden hat sich die Situation in Zustand **B** komplett geändert. Die Temperatur ist nun 16°C oberhalb der eutektischen Temperatur und das Metall hat eine Legierung gebildet. Die Mikrostruktur zeigt die typischen α -Aluminiumkörner (weiß) umgeben von einer schwarzen siliziumreichen Phase.

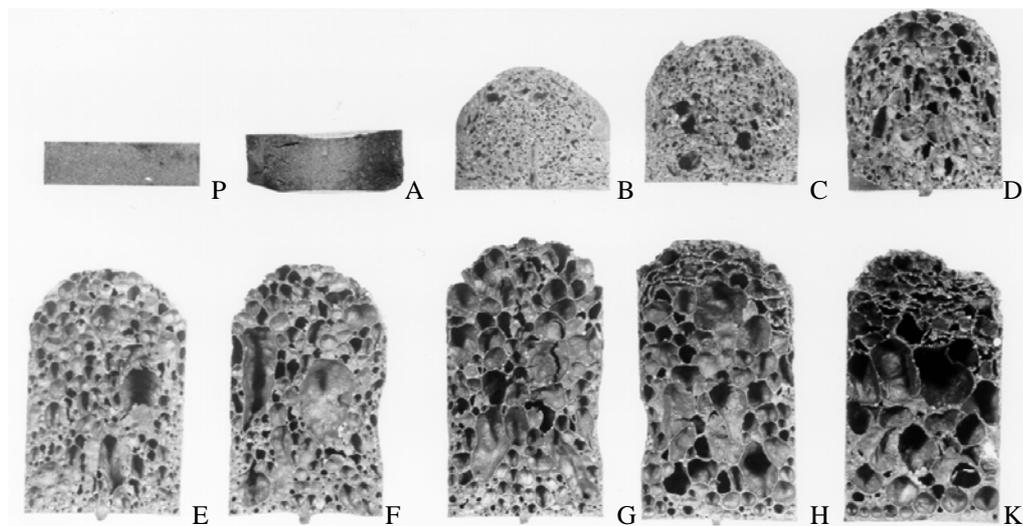


Abbildung 3: Morphologie verschiedener Schaumstadien bei der Aluminiumlegierung AlSi7. Die Proben (0.6 Gew.-% TiH₂) wurden in einem vorgeheizten Ofen bei 750°C geschäumt.

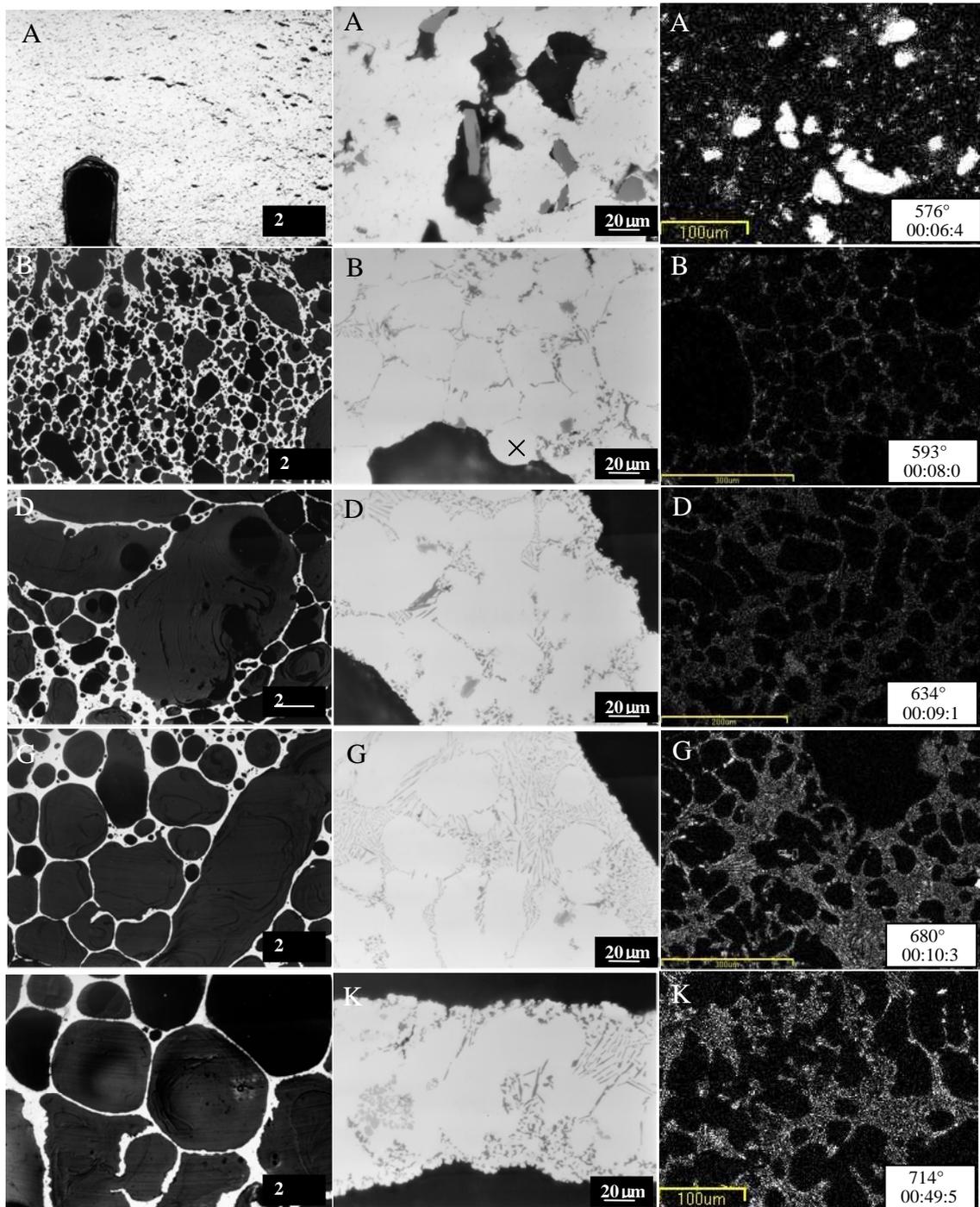


Abbildung 4: Verschiedene Stadien der Halbzeugerwärmung. Links: REM-Aufnahmen, Mitte: Lichtmikroskop-Aufnahmen, Rechts: EDX Siliziumverteilung (Anmerkung: Einzelne Stadien entsprechen unterschiedlichen Proben. Die drei Spalten entsprechen verschiedenen Stellen in der Probe.)

Weitere 77 Sekunden später sieht man in Phase **D** einen stark expandierten Schaum bei 634°C. Die Körner sind im Vergleich zu Phase **B** nur gering gewachsen. Die Siliziumverteilung (rechte Spalte) zeigt eine weite Verteilung des Siliziums und zunehmend größer werdende Aluminium-Silizium-Regionen. Diese beiden Effekte werden während des weiteren Schäumens weiter beobachtet, so daß nach 50 Minuten die typische Mikrostruktur einer Aluminium-Silizium-Legierung festzustellen ist.

4. Zusammenfassung

Der Schäumprozeß von AlSi7 hängt einfacher Weise vom Gehalt des Treibmittels Titanhydrid ab. Während ohne Treibmittelzusatz kaum eine Expansion festgestellt werden konnte, nimmt diese mit steigendem Gehalt stetig zu. Ab einer Konzentration von 0.6 Gew.-% TiH₂ kann ein Überschießen der Expansion beobachtet werden, das jedoch nach einigen Minuten von einem partiellen Kollaps abgelöst wird. Die Untersuchung der Mikrostruktur von AlSi7-Schaumzellwänden zeigt, daß es unproblematisch ist, aus elementaren Metallpulvern Halbzeug herzustellen. Die Legierungsbildung findet so schnell statt, daß auf vorlegiertes Pulver verzichtet werden kann.

Literaturverzeichnis

- [1] J. Banhart, Manufacture, charaterisation and application of cellular metals and metal foams, Prog. Mater. Sci., in press (2000)
- [2] J. Banhart, *Foam metal: the recipe*, Europhysics news **30**, 17 (1999)
- [3] F. Simancik et al., Proc. Int. Conf. Metal Foams and Porous Metal Structures, Editors: J. Banhart, M.F. Ashby, N.A. Fleck, MIT-Verlag Bremen (1999), S.105
- [4] I. Duarte, J. Banhart, Acta Mater. **48**, 2349 (2000)