

Untersuchungen des Schäumens von Metallen

P. Weigand, J. Banhart

Fraunhofer Institut für Angewandte Materialforschung, Bremen

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit werden Möglichkeiten diskutiert, den Schäumprozeß von Metallen beim pulvermetallurgischen Schäumverfahren zu charakterisieren. Zunächst werden verschiedene Einflußfaktoren auf die Kinetik und den Grad der Expansion metallischer Schäume untersucht. Dazu wird ein eigens zu diesem Zwecke konstruiertes Schäumdilatometer vorgestellt, das quantitative und qualitative Aussagen über das Schäumverhalten ermöglicht. Weiterhin wird anhand der Systeme Zink-Kupfer und Aluminium-Silizium gezeigt, daß sich dieser Versuchsaufbau zur gezielten Legierungsentwicklung für Metallschäume eignet. In einem Ausblick wird eine Perspektive aufgezeigt, wie sich mit Hilfe eines einfachen Meßaufbaus der Einfluß der Drainage und durch Mikrogravitationsexperimente die Einflüsse der Oberflächenspannung und der Viskosität experimentell nachweisen lassen können.

Einleitung

Durch die am Fraunhofer Institut für Angewandte Materialforschung (IFAM) erzielten Fortschritte auf dem Gebiet der Herstellung hochporöser Werkstoffe [1-6] gewinnen Metallschäume insbesondere aus Aluminium, Zink, Zinn, Blei, Kupfer und anderen Metallen zunehmende Bedeutung als industrierelevante Werkstoffe. Es existieren momentan zwei potentielle Herstellerfirmen für das am IFAM entwickelte Verfahren. Auf der Anwenderseite ist das Interesse an einem neuartigen Material wie den Metallschäumen ebenfalls groß. Das Verfahren ist in der Literatur beschrieben [1-8].

Allerdings wurden bislang einige Defizite bei der Beherrschung des Schäumens von Metallen nach dem IFAM-Verfahren identifiziert:

- es treten gelegentlich Stabilitätsprobleme beim Schäumen anspruchsvoller Teile auf
- man erhält bei größeren Formteilen zuweilen eine inhomogene Porenstruktur
- die mechanischen Eigenschaften der Schäume sind noch verbesserungsbedürftig in Hinblick auf einen kommerziellen Einsatz
- die Mechanismen und Einflußfaktoren auf den Schäumprozeß sind teilweise nicht bekannt
- aufgrund des hohen Anteils an empirischem Wissen erfolgte in der Vergangenheit die Weiterentwicklung der Technologie z.T. durch „trial and error“

Zur Bewältigung dieser Defizite sind verstärkte Forschungsanstrengungen notwendig. Die Aktivitäten am IFAM konzentrieren sich dabei momentan darauf, ein erweitertes Verständnis für die Vorgänge bei Schaumwachstum und -kollaps zu entwickeln und

daraus werkstofftechnische Weiterentwicklungen abzuleiten. Folgende Aufgaben stehen dabei im Vordergrund:

- Ermittlung der Schäumkinetik
- Charakterisierung der Drainage
- Aufklärung des Einflusses der Materialkennwerte „Oberflächenspannung“ und „Viskosität“ auf das Schäumverhalten

Ziel dieser Forschungen ist es, ein Wissen zu erarbeiten, das eine gezielte werkstoffkundliche Weiterentwicklung der metallischen Schaumsysteme erlaubt und beispielsweise über eine bessere Porenhomogenität zu verbesserten und besser reproduzierbaren mechanisch-technologischen Eigenschaften der Metallschäume aber auch zu einer besseren Prozeßkontrolle und -sicherheit führt.

Einflußfaktoren auf die Schäumeigenschaften

Die Porenmorphologie und die Schaumstabilität in Metallschäumen lassen sich innerhalb bestimmter Grenzen über die Herstellungsparameter beeinflussen. Die denkbaren Einflußfaktoren sind in Abb. 1 ohne Rücksicht auf ihre tatsächliche Wichtigkeit dargestellt.

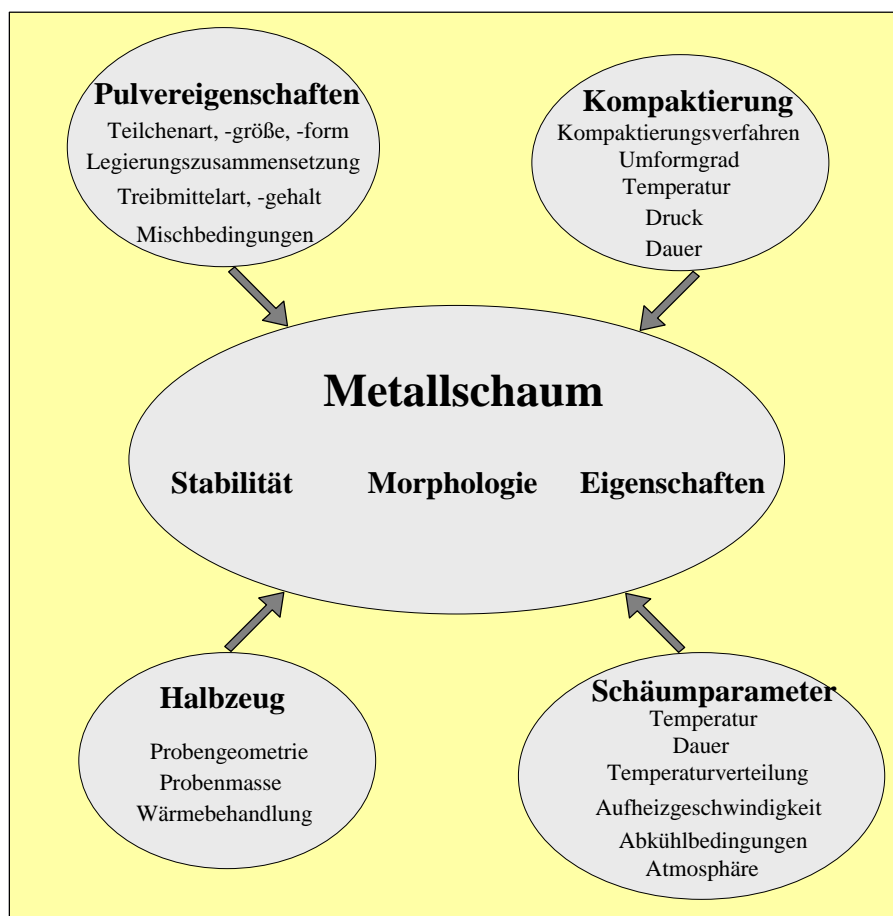


Abb. 1: Einflußfaktoren auf das Schäumen von Metallen (nach [6])

Im Bereich der Ausgangspulver sind neben dem verwendeten Treibmittel und dem Treibmittelgehalt, welche das erreichbare Expansionsvermögen bestimmen, die Pulverart, -größe und -form wichtig, welche einen Einfluß auf das makroskopische Gefüge des Halbzeugs haben. Außerdem spielen Legierungselemente und Zuschlagstoffe eine Rolle, die die Oberflächenspannung und die dynamische Viskosität beeinflussen.

Im Bereich des Mischvorgangs ist es notwendig, eine möglichst homogene Mischung der Ausgangskomponenten zu erhalten. Hierauf haben neben der Art des verwendeten Mixers (Taumel-, Doppelkonus-, Nautamischer, o.ä.), die Mischgeschwindigkeit und -dauer sowie die Neigung der Pulversorten zur Entmischung Einfluß.

Ziel der Kompaktierung ist es, ein Halbzeug mit möglichst geringer Restporosität, kleinem Dichtegradienten bei weitgehender Abwesenheit von Preßfehlern zu erhalten. Dafür stehen unterschiedliche Kompaktierungsverfahren zur Verfügung, beispielsweise Heiß-, Strang- oder heißisostatisches Pressen, bei denen Kompaktierungstemperatur, Kompaktierungsdruck und Kompaktierungszeit sowie die Atmosphäre beim Kompaktieren variiert werden können. Bei dem so hergestellten Halbzeug spielen hinsichtlich des späteren Schäumergebnisses auch die Probengeometrie, -masse und gegebenenfalls die Wärmebehandlung und der Umformgrad eine Rolle.

Beim abschließenden Aufschäumen kann das Schäumergebnis im wesentlichen durch die Ofenparameter manipuliert werden. In Abhängigkeit von Ofentemperatur, -atmosphäre und -druck sowie von der Versuchsdauer, Aufheiz- und Abkühlbedingungen sind unterschiedliche Schaumstrukturen und Porositäten erzielbar.

Versuchsaufbau

Mit Hilfe der im folgenden vorgestellten Versuchsanordnung ist es möglich, quantitative und qualitative Aussagen über das Expansionsverhalten verschiedener Legierungen in Abhängigkeit von der Versuchszeit zu erhalten. Zusätzlich ermöglicht der Aufbau eine thermoanalytische Betrachtung des Probenmaterials während des Aufschäumens. Das Schäumdilatometer wird im folgenden *Expandometer* genannt und ist in Abb. 2 dargestellt.

Zu erkennen ist ein elektrisch beheizter Rohofen (1), der mit Hilfe einer Klappvorrichtung um die Probenaufnahme geschlossen und wieder geöffnet werden kann. Die Probenaufnahme besteht aus einer Stahlhülse als Form (2) und einem Thermoelement (3), welches die

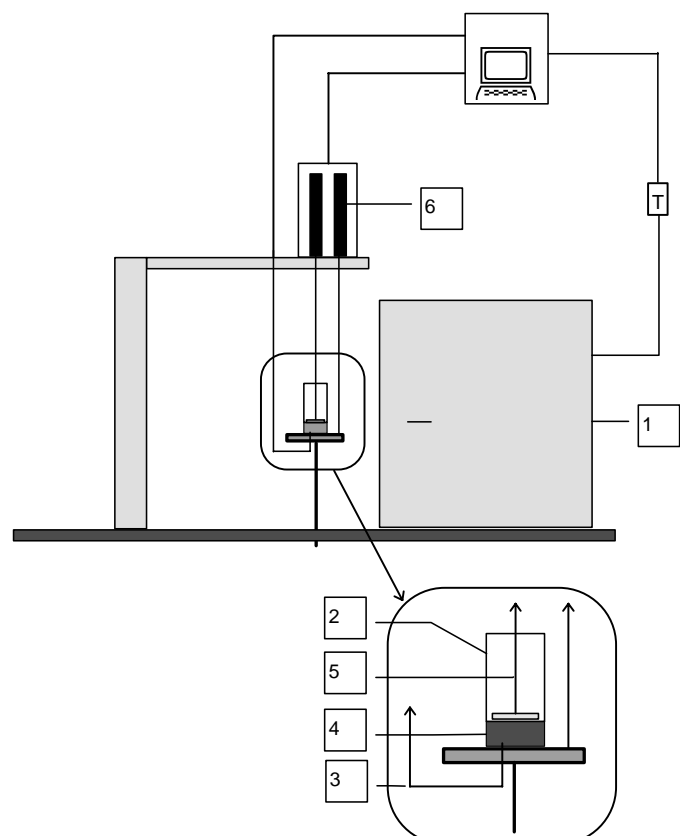


Abb. 2: Aufbau des Schäumdilatometes (*Expandometer*)

Temperatur der aufschäumbaren Probe (4) mißt. Bei Versuchsbeginn sitzt ein Keramik-Stempel (5) auf der Probe auf, welcher über ein Gestänge mit einem induktiven Wegaufnehmer (6) verbunden ist. Während des Versuchs nimmt der Stempel die Expansion des Schaums auf, das zugehörige Gestänge verändert die Induktivität im Wegaufnehmer. Diese Veränderung der Induktivitäten ist ein Maß für den Weg, den der Stempel zurücklegt und wird durch einen Computer in Abhängigkeit von der Versuchszeit aufgezeichnet. Außerdem zeichnet der Computer die Ofen- und Proben temperatur auf. Durch ein geeignetes Datenverarbeitungsprogramm kann die Expansion graphisch dargestellt werden. Exemplarisch ist ein solches „Expandogramm“ für eine Aluminium-Probe (Reinheit 99,7%) mit einem Treibmittelgehalt von 0,8% TiH₂ in Abb. 3 dargestellt:

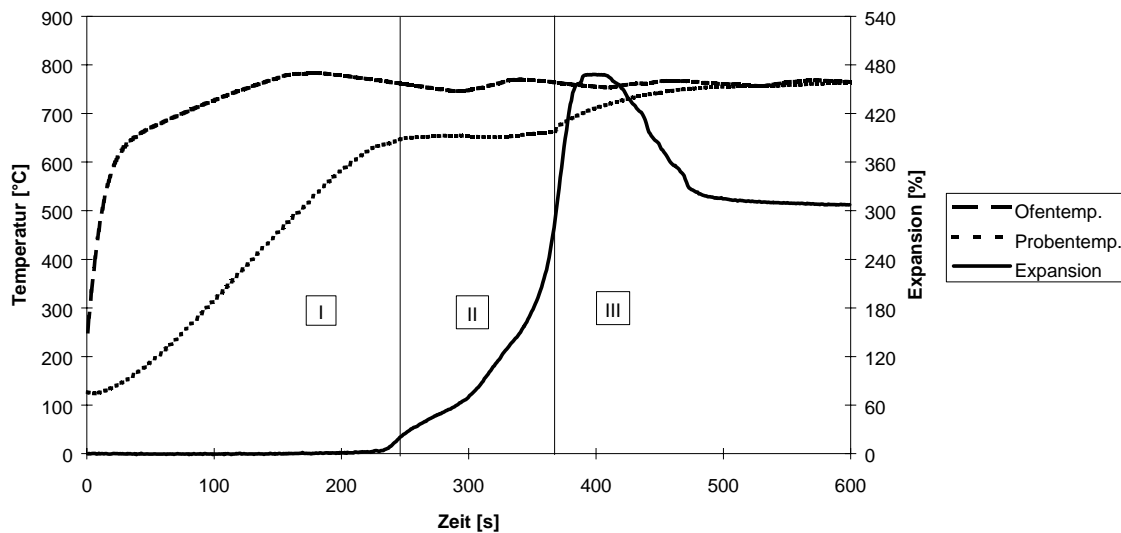


Abb. 3: Expandogramm eines Aluminiumschaumes

Aufgetragen ist die Temperatur und die Expansion gegen die Versuchszeit. Die Expansion läßt sich demnach in drei Phasen unterteilen (römische Ziffern in Abb. 3): In der ersten Phase findet die Expansion bei Temperaturen unterhalb der Solidustemperatur des Matrixmaterials statt (Festkörperexpansion). Die zweite Phase wird charakterisiert durch die Schaumexpansion im Schmelzintervall. Ist die Probe vollständig aufgeschmolzen, expandiert der Schaum im flüssigen Bereich, nach Erreichen des Expansionsmaximums setzt der Schaumkollaps ein (Phase III). Im hier dargestellten Versuch wird eine Expansion von 470% (Faktor 5,7) erreicht, was einer minimalen Dichte von 0,47 g/cm³ und einer Porosität von 83% entspricht.

Expansionsverhalten von Zinkschäumen

Anhand von Expandometerversuchen wurde das Expansionsverhalten von Zink und Zinklegierungen untersucht. Als Treibmittel wurde Zirkoniumhydrid gewählt, das als Treibgas Wasserstoff abspaltet. Zunächst wurde der Treibmittelgehalt von 0,0 bis 1,0 Gew.% variiert. Die resultierenden Expandometerkurve sind in Abb. 4 dargestellt.

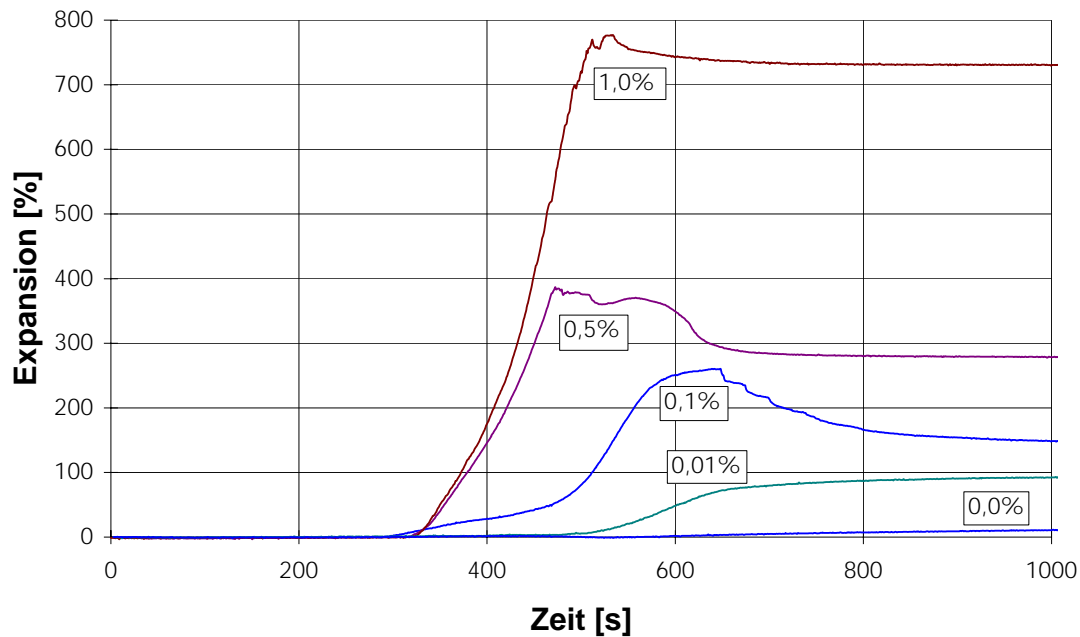


Abb. 4: Expansionsverhalten von Zink für verschiedene Treibmittelgehalte

Bei einem ZrH_2 -Gehalt von 1,0% wird eine Expansion von ca. 780% (Faktor 8,8) erreicht, was einer Dichte von $0,81 \text{ g/cm}^3$ und einer Porosität von 89% entspricht. Weiterhin ist eine gute Schaumstabilität zu erkennen, was sich durch einen relativ geringen Kollaps des Schaums nach Durchlaufen des Schäum-Maximums bemerkbar macht. Bei geringeren Treibmittelgehalten ist einerseits eine deutliche Abnahme des Expansionsvermögens und andererseits eine Verschlechterung der Schaumstabilität zu verzeichnen. Die Abhängigkeit des maximalen Expansionsfaktors vom Treibmittelgehalt ist graphisch in Abb. 5 gezeigt.

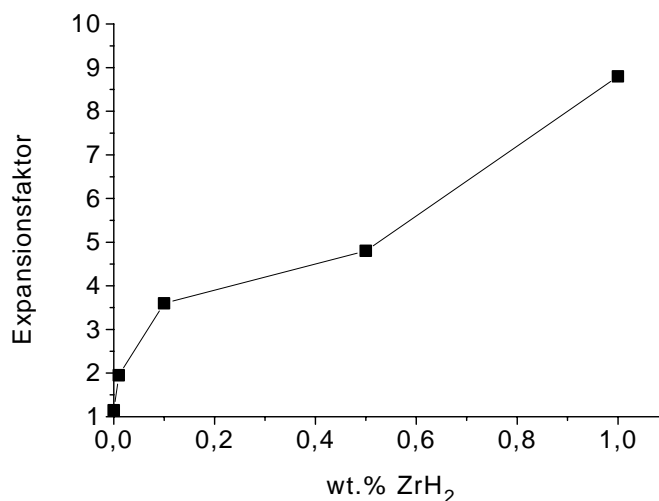


Abb. 5: Maximaler Expansionsfaktor von Zinkschäumen für verschiedene Treibmittelgehalte

Weiterhin wurde das Expansionsvermögen von Zn-Cu Legierungen in Abhängigkeit vom Kupfergehalt untersucht. Dazu wurden bis zu 20 Gew.% Kupfer bei einem Treibmittelgehalt von 1% ZrH_2 zulegiert (Abb. 6).

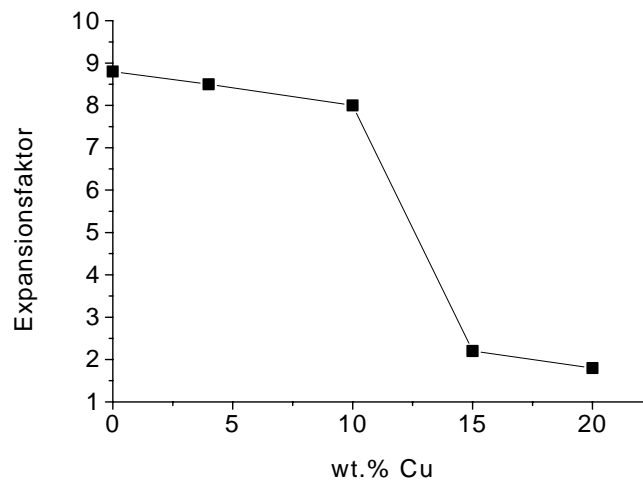


Abb. 6: Maximaler Expansionsfaktor von Zn-Cu-Schäumen mit verschiedenen Cu-Gehalten

Es zeigte sich, daß bis zu einem Kupfergehalt von 10% ein gutes Schäumvermögen zu beobachten ist, während bei einem Kupfergehalt von 15% und mehr ein deutlicher Abfall zu verzeichnen ist. Ausgehend von einer Schäumtemperatur von 550°C war das aufgrund des Phasendiagramms auch zu erwarten: Bei Kupfergehalten von mehr als 10 Gew.% liegt die Liquidustemperatur über 550°C. Ein Aufschäumen im Zwei-Phasen-Gebiet wird durch den Anteil der festen Phase jedoch behindert, was niedrigere Expansionsraten zur Folge hat. Man kann also erwarten, daß der starke Abfall des Expansionsfaktors bei höheren Schäumtemperaturen zu höheren Kupfergehalten hin verschoben wird.

Expansionsverhalten von Aluminiumschäumen

Für Aluminiumschäume gelten wie für Zinkschäume Abhängigkeiten der Schäumkinetik und des maximalen Expansionsfaktors von den Prozeßparametern. Dies soll hier anhand der Prozeßparameter „Treibmittelgehalt“ und „Kompaktierungsdruck“ demonstriert werden.

In Abb. 7 ist die Abhängigkeit des Expansionsfaktors vom prozentualen Anteil TiH_2 für Reinaluminium (Al-Gehalt 99,5%) und die Al-Gußlegierung AlSi12 dargestellt. Enthält das Halbzeug kein Treibmittel, so beobachtet man eine geringe Expansion, die zu Porositäten um 13-15% führt. Diese Expansion erklärt sich durch das Freiwerden von beim Kompaktieren eingeschlossenen Gasen. Das Ausmaß dieser Expansion ohne Treibmittel ist stark von der Art der verwendeten Pulver und dem Kompaktierungsverfahren abhängig und kann auch wesentlich höher sein. Bei einer Zugabe von TiH_2 steigt nun bei beiden Legierungen der Expansionsfaktor bis zu einem Gehalt von ca. 0,6% stark an und erreicht Werte zwischen 5 und 6. Dagegen ist bei einer weiteren Erhöhung des Treibmittelgehaltes nur noch eine schwache Steigerung des Expansionsvermögens zu verzeichnen. Für hohe Treibmittelgehalte geht offensichtlich der Wasserstoff größtenteils durch Diffusionsprozesse verloren und steht nicht mehr zur Porenbildung zur Verfügung. Dies erklärt, warum man beim Schäumen von Aluminiumwerkstoffen meist Treibmittelgehalte unter 1% wählt.

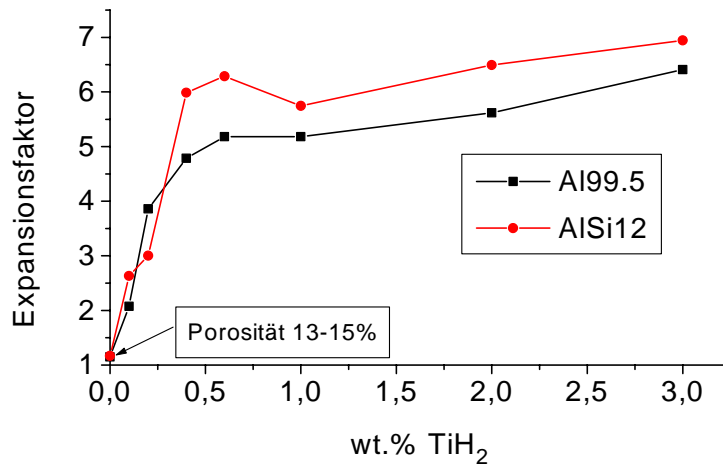


Abb. 7: Maximaler Expansionsfaktor zweier Aluminiumwerkstoffe für verschiedene Treibmittelgehalte

Eine weitere wichtige Einflußgröße stellt die Temperatur beim Heißpressen dar. Durch eine höhere Temperatur während des Preßvorgangs können gezielt die Restporosität des Halbzeugs gesenkt und Preßfehler wie beispielsweise Mikrorisse vermindert werden. Die Temperatur sollte jedoch nicht beliebig erhöht werden, weil sich sonst das Treibmittel schon während des Kompaktiervorganges zersetzt und das Treibgas aus dem Halbzeug entweicht. In Abb. 8 ist für Reinaluminium (Al-Gehalt 99,7%) mit einem TiH₂-Gehalt von 0,8% das Expansionsmaximum gegen die Kompaktierungstemperatur aufgetragen.

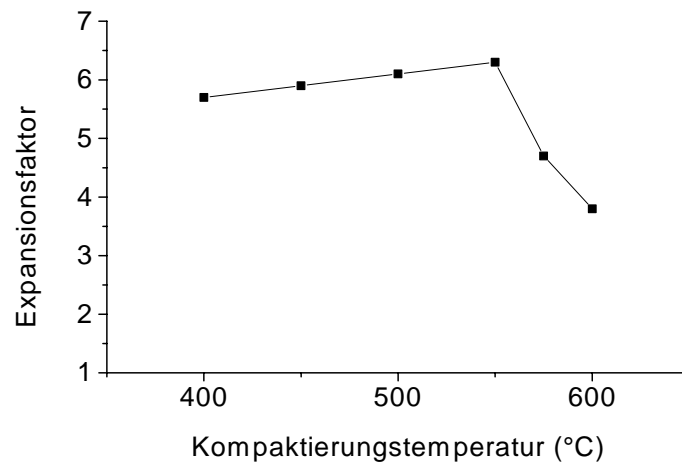


Abb. 8: Maximaler Expansionsfaktor von Aluminiumschaum (Al99.7+0.8%TiH₂) in Abhängigkeit von der Kompaktierungstemperatur beim Heißpressen

Es zeigt sich, daß bei einer Erhöhung der Kompaktierungs-Temperatur bis auf 550°C das Expansionsmaximum nahezu linear bis auf den Faktor 6.3 ansteigt. Das entspricht einer minimalen Dichte von 0,43 g/cm³ und einer Porosität von 84%. Bei einer weiteren Temperaturerhöhung fällt dann allerdings das Expansionsvermögen aufgrund der erwähnten Wasserstoffverluste rapide ab.

Messung der Drainage von Metallschäumen

Als Drainage bezeichnet man das Abfließen von Flüssigkeit aus den Schaumlamellen unter dem Einfluß der Gravitation. Drainage führt zu einem Dichtegradienten im Schaum und gefährdet die Stabilität des Schaumes. Die Drainagetendenz ist vom Schaumsystem abhängig und kann auf zwei Weisen minimiert werden:

- Erhöhung der Viskosität der Metallschmelze durch Additive (z.B. Legierungselemente)
- Zugabe von Drainagestoppnern, die nicht oder nur langsam aufgelöst werden und als mechanische Barriere in den Schaumlamellen wirken.

Um gezielt nach drainagehemmenden Substanzen suchen zu können, muß ein Versuchsaufbau zur quantitativen Charakterisierung des Drainagevorganges bereitgestellt werden. In der Literatur zur Charakterisierung von wässrigen Schäumen beschriebene Verfahren [9] erwiesen sich als nicht praktikabel. Ein momentan in der Realisierung begriffener Versuchsaufbau könnte hingegen zur Charakterisierung von Metallschäumen geeignet sein (Abb. 9).

Im Ofen wird ein aufschäumbarer Metalldraht in einem horizontal angebrachten Stahlrohr zum Schäumen gebracht. Sobald das Rohr vollständig gefüllt ist, wird die Schaumsäule in die Vertikale gekippt und für eine vorgegebene Haltezeit τ so im Ofen belassen. In dieser Position findet eine Drainage entlang der langen Achse der Schaumsäule statt. Nach Ablauf der Haltezeit wird der Schaum schnell auf eine Temperatur unterhalb seines Schmelzpunktes abgekühlt. Von dem resultierenden Schaumzylinder wird durch Zersägen in Scheiben ein Dichteprofil aufgenommen. Man erwartet eine von oben nach unten zunehmende Dichte des Schaumes, wobei die Unterschiede mit zunehmender Haltezeit τ größer werden sollten. Aus der zeitlichen Entwicklung des Dichteprofiles lassen sich dann Rückschlüsse auf die Stärke der Drainage ziehen und diese dann durch Variation des Materials beeinflussen.

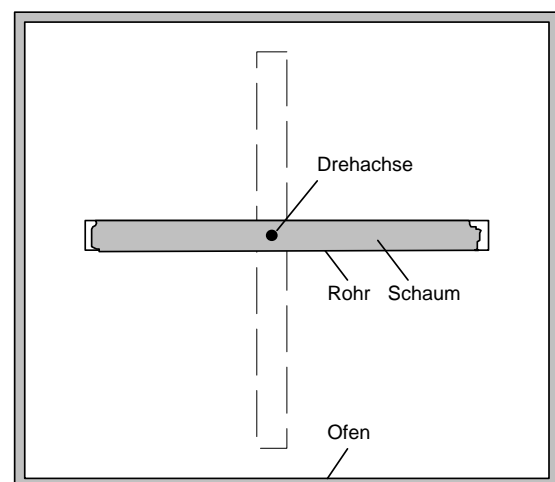


Abb. 9: Versuchsaufbau zur Charakterisierung der Drainage beim Schäumen

Problematisch bei diesem Versuch ist, daß der Fortschritt der Drainage nicht an einer Probe gemessen werden kann, sondern für jede Haltezeit τ eine neue Probe geschäumt werden muß. Dies ist in Hinblick auf eine schnelle Vermessung, aber auch auf die Reproduzierbarkeit der Meßwerte problematisch. Wünschenswert wäre deshalb die Möglichkeit einer in-situ Messung des Dichteprofiles eines in Entwicklung befindlichen Schaumes, wie es im Fall wässriger Schäume geschieht [10,11].

Messung des Einflusses der Oberflächenspannung und der Viskosität auf das Schäumverhalten

Die bislang beschriebenen Versuche zur Charakterisierung der Schäumkinetik und der zeitlichen Entwicklung der Drainage vermitteln eine phänomenologische Beschreibung des Schäumprozesses und liefern ein technologisch wichtiges Hilfsmittel zur Weiterent-

wicklung des Schäumwerkstoffes. Es wird jedoch kein direkter Zusammenhang zwischen den für das jeweilige zu schäumende Material typischen Parametern wie Viskosität und Oberflächenspannung und dem Schäumverhalten vermittelt. Solche Zusammenhänge sind v.a. für Metallschäume äußerst schwer zu bestimmen. In diesem Abschnitt soll zunächst die Problematik dieser Fragestellung diskutiert und dann kurz auf ein am IFAM in Zusammenarbeit mit der Universität Bremen in Planung befindliches Forschungsvorhaben eingegangen werden, in dem im Rahmen von Mikrogravitationsexperimenten Erkenntnisse über die erwähnten Zusammenhänge gewonnen werden sollen.

Schäume sind instabile Systeme, weswegen schon während der Schaumentstehung Vorgänge einsetzen, die zur Veränderung und Zerstörung der Schaumstruktur führen. Die Mechanismen der Schaumzerstörung sind in Abb. 10 dargestellt: Es sind dies Vorgänge, die von den Materialkonstanten *Oberflächenspannung* und *Fluidität* (d.h. reziproke Viskosität), sowie von der *Gravitation* abhängen (oval umrandete Felder). Die Wirkung dieser Einflußgrößen auf Vorgänge beim Schäumen (gekennzeichnet durch rechteckige Umrandungen) ist durch Pfeile dargestellt.

Einfluß der Oberflächenspannung

Der Kapillardruck p_1 innerhalb der Zellstege, den *Plateau-Grenzen*, ist geringer als der Druck p_2 in den benachbarten, flacheren Membranwänden. Die Druckdifferenz nämlich hängt mit dem Krümmungsradius der Membranwände über die Oberflächenspannung γ in erster Näherung wie folgt zusammen:

$$p_2 - p_1 = \gamma \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right).$$

Die Krümmung der Membranwand verändert sich, wenn man von der Plateau-Grenze zur ebenen Stegmitte geht, so daß sich ein Druckgradient in der Lamelle ausbildet. In der ebenen Membranwand ist der Krümmungsradius wesentlich größer als der Radius an der Plateau-Grenze (siehe Abb. 11), so daß das Material in der Membran eine Kraft in Richtung Plateau-Grenze erfährt. Dieser durch die Kapillarkräfte entstehende Unterdruck in den Zellstegen führt zu einem Sog der Filmflüssigkeit aus den ebenen Membranbereichen in die Stege, was zu einer Verdickung der Stege und zu einer fortschreitenden Membrandünnung führt. Unterschreitet die Dicke der Membran ein gewisses Mindestmaß, so sinkt ihre Stabilität rasch und es kommt zum Filmriß und damit zum Zusammenwachsen zweier Poren (Koaleszenz).

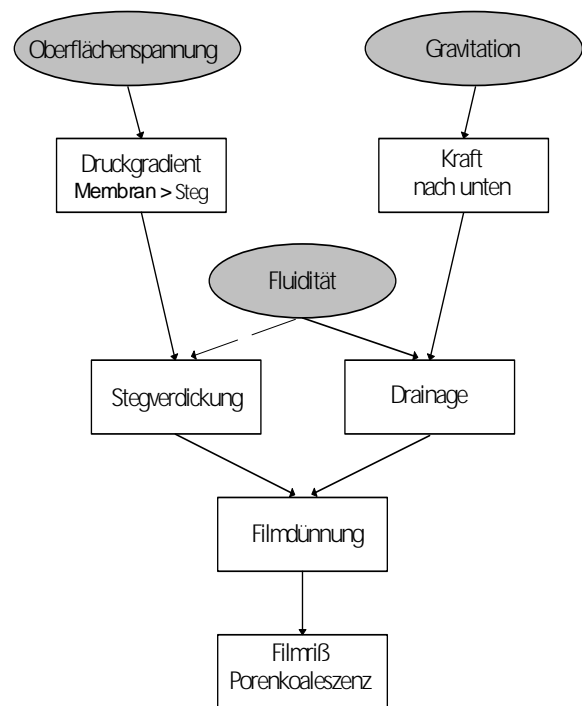


Abb. 10: Zusammenhang der betrachteten Einflußgrößen (Ovale) mit den Vorgängen beim Schäumen (Rechtecke)

Die Oberflächenspannung hängt stark vom Reinheitsgrad einer Schmelze ab. Es ist bekannt, daß sich die Oberflächenspannung von Wasser durch minimale Beigaben von oberflächenaktiven Elementen drastisch reduzieren läßt. Gleiches trifft auch auf Metalle zu, bei denen z.B. Oxide als oberflächenaktive Substanzen wirken können [12]. Ein Großteil der während der Kompaktierung abgelösten Oberflächenfragmente der Pulver wird sich während der Expansionsphase wieder an der Oberfläche der flüssigen Phase ansammeln und so zu einer Verminderung der Oberflächenspannung beitragen.

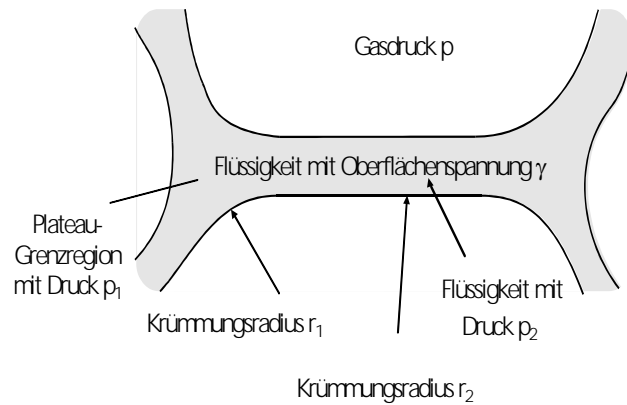


Abb. 11: Schematische Darstellung einer Schaumlamelle und zweier Plateaugrenzen

Einfluß der Gravitation

Zusätzlich zum Materialfluß von den Zellstegen in die Plateaugrenzen findet ein Materialfluß entlang der Schwerkraftrichtung statt. Dieser Materialfluß, *Drainage* genannt, hängt von der Dichte des Basismaterials des Schaumes ab, ist also bei Metallschäumen im allgemeinen und bei Bleischäumen im besonderen recht ausgeprägt. Die Flüssigkeit läuft fast ausschließlich durch die Plateaugrenzen ab, da ihr Querschnitt größer ist als der Querschnitt der Membranen. Drainage führt zu einer Austrocknung des Schaumes und letztendlich, wie bei dem durch die Oberflächenspannung vermittelten Materialfluß, zu Filmdünnung und Filmriß.

Es ist offensichtlich, daß die Effekte der Oberflächenspannung und der Gravitation nicht voneinander unabhängig sind: Die Drainage läuft besonders schnell ab, wenn die Filmdünnung durch die Oberflächenspannung die Plateaugrenzen mit Flüssigkeit versorgt und diese aufweitet, da die Flußgeschwindigkeit mit dem Durchmesser der Stege stark zunimmt. Umgekehrt wird das Wachstum der Plateaugrenzen durch den Abfluß von Material aufgrund der Drainage begrenzt.

Einfluß der Fluidität (Viskosität)

Die Geschwindigkeit des Materialflusses hängt neben den genannten Faktoren von der inneren Beweglichkeit der Schmelze ausgedrückt durch die Viskosität η oder die Fluidität $1/\eta$ ab. Dies trifft hauptsächlich auf die Drainage, in geringerem Maße auch auf das Wachstum der Plateaugrenzen (gestrichelter Pfeil in Abb. 10) zu. Die Viskosität einer Schmelze hängt von ihrer Temperatur und von ihrem Reinheitsgrad ab. Durch Zugabe von Fremdstoffen lassen sich wie bereits erwähnt Metallschmelzen verdicken und damit die Fluidität und die Drainage eingrenzen. Allerdings wirken sich solche Additive auch auf die Oberflächenspannung aus, so daß sich die Effekte nicht klar trennen lassen.

Die Anwesenheit fester Partikel in der Oberflächenschicht der Membranen beeinflusst nicht nur die Oberflächenspannung, sondern führt auch zu einer erhöhten Viskosität der Oberflächenschichten im Vergleich zur Schmelze im Inneren der Schaumlamellen [18]. Die Adsorption des Treibgases oder von Gasen aus der Umgebung könnte ebenfalls stabilisierende Effekte auf die Schaumstruktur haben, in dem sie die Blasenoberfläche

verändert und so zu einem Stützhaut-Effekt führt. Beispielsweise wäre aufgrund der sehr hohen Reaktivität des flüssigen Metalls eine spontane Oberflächenbelegung durch die Bildung anderer Phasen (Oxide, Hydroxide etc.) oder die Adsorption von Gasen möglich. Die gute Schäumbarkeit von verpreßten Reinmetallpulver/Treibmittel-Mischungen auch ohne Zusatz von Legierungselementen oder anderen Zuschlagsstoffen zeigt eine bereits unkritische Konzentration von grenzflächenaktiven Stoffen sowie eine geeignete Viskosität der expandierenden Schmelze.

*Mikrogravitationsexperimente (μg)**

Das Ziel des in Vorbereitung befindlichen Forschungsvorhabens ist die Entkopplung der oberflächenspannungsgetriebenen von den durch die Fluidität und die Gravitation verursachten Einflüssen auf das Schäumverhalten durch Variation der Gravitationsbedingungen. Mikrogravitationsbedingungen ($< 10^{-2}$ g) sollen auf Parabelflügen realisiert werden. Es können so 25 Sekunden mit nahezu ausgeschalteter Schwerkraft erhalten werden. Umgekehrt kann in einer Zentrifuge eine stark erhöhte Schwerkraft eingestellt werden.

Niedrigschmelzende Metalle sollen vor Einsetzen der Schwerkraft auf eine Temperatur knapp unterhalb des Schmelzpunktes gebracht werden. Nach Einsetzen der Mikrogravitation wird die Probe auf die Schäumtemperatur gebracht und der Schäumprozeß ausgelöst. Kurz vor Wiedereinsetzen der Schwerkraft wird der Schaum im Gasstrom abgekühlt.

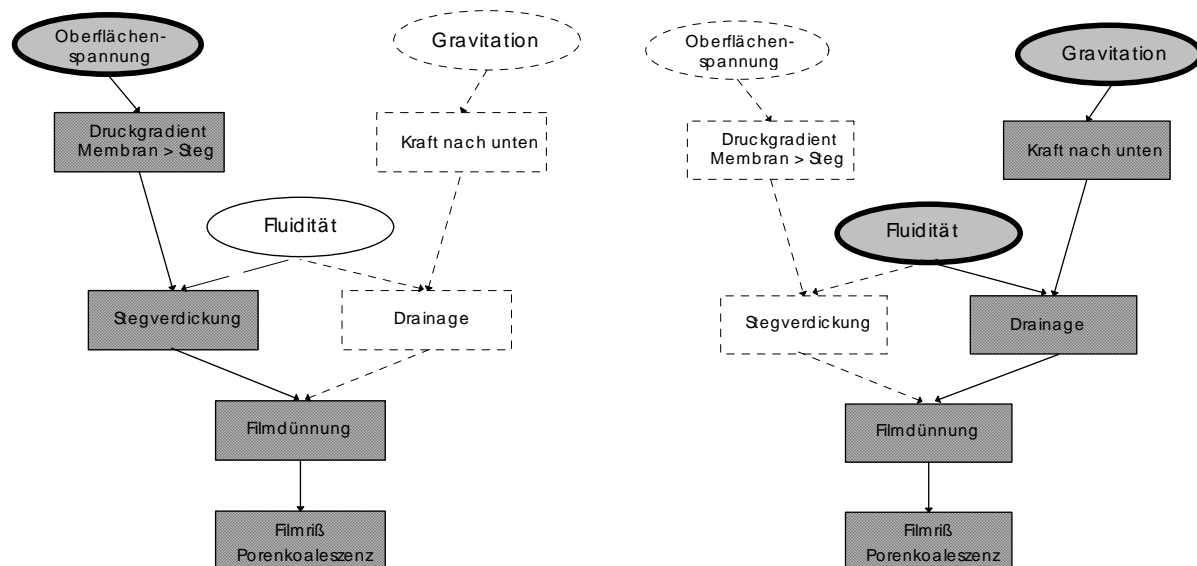


Abb. 12: Konzeption der Mikrogravitationsexperimente

In einer ersten Phase der Versuche (siehe Abb. 12, linker Teil) soll der Einfluß der Gravitation ausgeschaltet werden. So kann die Wirkung oberflächenspannungsverändernder Zusätze zum Material charakterisiert werden. Es werden Schäumparameter wie Tempe-

* Die beschriebenen Experimente wurden in Zusammenarbeit mit Dr. S. Odenbach vom Zentrum für Angewandte Mikrogravitation (ZARM) der Universität Bremen konzipiert.

ratur, Schäumzeit, Ofenatmosphäre variiert und die Morphologie, Mikrostruktur und andere Eigenschaften der entstehenden Schäume charakterisiert.

In einer zweiten Versuchsphase (Abb. 12, rechter Teil) soll der Einfluß der Oberflächenspannung als bekannt betrachtet werden. Jetzt wird die Gravitation variiert (μg , 1g , hyper-g) und der Einfluß von Substanzen untersucht, die die Fluidität beeinflussen bzw. als Drainagestopper wirken. Oberflächenspannungseffekte können mittels der Erkenntnisse aus Phase 1 von Effekten der Viskosität getrennt werden.

Zusammenfassung

Es wurden drei Möglichkeiten vorgestellt, den Schäumprozeß beim Schäumen von Metallen nach dem pulvermetallurgischen Verfahren zu charakterisieren. Während das erste Verfahren, die Messung der Schäumkinetik im Expandometer, schon im Einsatz ist und zur Werkstoffentwicklung verwendet wird, sind die Verfahren der Drainagemessung im Drainagerohr und die Charakterisierung des Einflusses der Viskosität und Oberflächenspannung in Mikrogravitationsexperimenten noch in Vorbereitung. Von allen Verfahren erhofft man sich Erkenntnisse sowohl grundlegenden wissenschaftlichen Charakters als auch konkrete Auswirkungen auf die Weiterentwicklung der Schäumtechnologie mit dem Ziel, bessere Werkstoffeigenschaften des Schaumes und eine verlässlichere Fertigungstechnologie zu erhalten.

Literaturverzeichnis

- [1] Baumeister J.: *Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper*, Patent DE 40 18 360, (1991)
- [2] Baumeister J., Schrader, H.: *Verfahren zur Herstellung aufschäumbarer Metallkörper und Verwendung derselben*, Patent DE 41 01 630, (1992)
- [3] Baumeister J., Banhart J., Weber M.: *Poröser metallischer Werkstoff mit anisotropen Eigenschaften*, Patent DE 43 25 538 (1996)
- [4] Banhart J., Baumeister J., Weber M.: *Metallschaum*, Aluminium, **70**, 209-213, (1994)
- [5] Banhart J., Baumeister J., Weber M.: *Geschäumte Metalle als neue Leichtbauwerkstoffe*, VDI-Berichte **1021**, 277-284, (1993)
- [6] Weber, M.: *Herstellung von Metallschäumen und Beschreibung der Werkstoffeigenschaften*, Dissertation, TU Clausthal, (1995)
- [7] Baumeister J.: *Überblick: Verfahren zur Herstellung von Metallschäumen*, vorliegender Tagungsband
- [8] Cohrt H., Baumgärtner F., Brungs D., Gers, H.: *Grundzüge der Herstellung von Aluminiumschaum auf PM-Basis*, vorliegender Tagungsband
- [9] Bikerman J.J.: *Foams: Theory and Industrial Applications*, Reinhold, New York, (1953), Kap. 4
- [10] Weaire D., Pittet N., Hutzler S., Pardal D.: *Steady-State Drainage of an Aqueous Foam*, Phys. Rev. Lett. **71**, 2670, (1993)
- [11] Hutzler S., Verbist G., Weaire D., van der Steen J.A.: *Measurement of Foam Density Profiles Using AC Capacitance*, Europhys. Lett. **31**, 497, (1995)
- [12] Davies J. T.; Ridea E. K.: *Interfacial Phenomena*, Academic Press, New York, (1963)