

Thermische Ausdehnung poröser Metallschäume

Dr. Alexander Lauerer und Doreen Rapp

Einleitung

In zwei kürzlich erschienenen Veröffentlichungen wurden Temperaturleitfähigkeitsmessungen an porösen Metallschäumen mittels LFA (Laser/Light Flash Analysis) eingehend diskutiert [1, 2]. Thema dieser Application Note ist eine weitere wichtige thermophysikalische Eigenschaft dieser Materialien: Die thermische Ausdehnung mittels Dilatometrie (DIL).

Untersucht wurden ofenzellige Schäume auf Basis der Aluminiumlegierung AlSi7Mg (ENAC-42000), zur Verfügung gestellt von der Exxentis AG (Wettingen, Schweiz). Zur Herstellung der Schäume wird beim Guss der Aluminiumlegierung Kristallsalz als Platzhalter für die späteren Poren eingesetzt. Durch Variation der Korngröße des Salzes konnten verschiedene Porengrößen erzielt werden. Poröse Metallschäume werden als Vakuumschaumformen, als Thermoformwerkzeuge, für Vakuumplatten in Vakuumtischen und Spannsystemen, als Filter und Wärmetauscher eingesetzt. Ultraleichte Metallschäume finden außerdem Anwendung in der Katalyse, in Brennstoffzellen, bei der Wasserstoffspeicherung und in der Schalldämmung [2].

Experimenteller Teil

Es wurde drei ofenzellige Schäume mit Nenn-Porengrößen im Bereich von 0,2 bis 0,35 mm („kleine Poren“), von 0,40 bis 1 mm („mittlere Poren“) und von 0,63 bis 4,00 mm („große Poren“) untersucht. Fotos dieser Proben sind in Abbildung 1a) zu sehen. Die Schäume wiesen eine Nennichte von $\rho = 1.09 \text{ g/cm}^3$ bzw. eine Nennporosität von ca. 60 % auf. Das Ausdehnungsverhalten der drei porösen Metallschäume wurde mit dem vollständig

kompakten AlSi7Mg-Material mit einer Dichte von $\rho = 2,68 \text{ g/cm}^3$ verglichen. Ein Foto dieser Probe ist in Abbildung 1b) zu sehen. Die Dichte der Schäume wurde mittels der Masse dividiert durch das Volumen berechnet. Zur Bestimmung der Dichte der kompakten Probe wurde eine Dichtewaage verwendet. Alle Proben waren zylindrisch mit einem Durchmesser von 12,6 mm und einer Dicke von 10 mm.

Messbedingungen

Die Messungen wurden mit einem Schubstangen-Dilatometer DIL 402 *Expedis Select* durchgeführt, ausgestattet mit einem Stahlofen für den Betrieb zwischen $-150 \text{ }^\circ\text{C}$ und $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Das System ist vakuumdicht und erlaubt Messungen in rein inerten oder oxidierenden Atmosphären sowie unter Vakuum. Zur Längskalibrierung steht eine Reihe von Primärstandards einschließlich Quarzglas, Saphir, Platin, Wolfram usw. zur Verfügung. Die erwartete Ausdehnung der Probe und der Temperaturbereich der Messungen bestimmen, welcher Standard zu verwenden ist. Die Messungen wurden mit einem Probenhalter aus Quarzglas im Temperaturbereich von $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $500 \text{ }^\circ\text{C}$ mit einer Heizrate von 2 K/min in Heliumatmosphäre durchgeführt. Jede Probe wurde zweimal aufgeheizt; die Ergebnisse der zweiten Aufheizung wurden zur Berechnung der Dichtekurve auf Grundlage der Dichte bei Raumtemperatur und der gemessenen thermischen Ausdehnung herangezogen, wobei von einem isotropen Ausdehnungsverhalten ohne Massenverlust während der Aufheizung ausgegangen wurde. Zur Korrektur der Ausdehnung des Probenhalters und des Fühlstempels wurde vor den Probemessungen eine Korrekturmessung mit einer Al_2O_3 -Referenz durchgeführt.

APPLICATIONNOTE Thermische Ausdehnung poröser Metallschäume

Messergebnisse

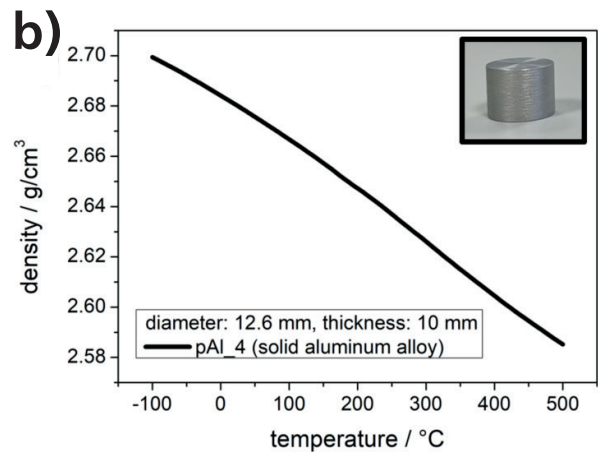
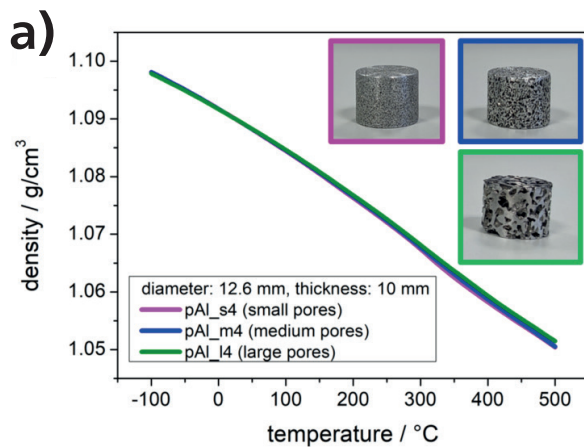
Abbildung 1a) zeigt die Daten für die drei Schaumproben mit unterschiedlichen Porengrößen, Abbildung 1b) die Dichtedaten für die kompakte Probe.

Aufgrund der thermischen Ausdehnung nimmt die Dichte aller Proben mit steigender Temperatur ab, wobei ein einheitlicher Trend zu erkennen ist. Sowohl bei der kompakten Probe als auch bei den Schäumen verringert sich die Dichte im Temperaturbereich zwischen -100 °C und 500 °C um 4,3 %.

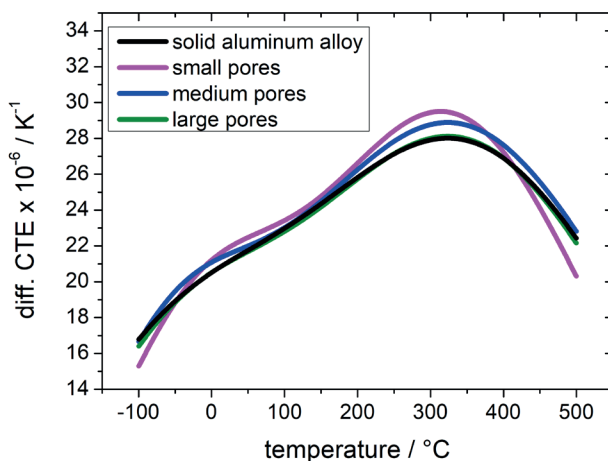
Die Einführung von Porosität in eine kompakte, vollständig dichte AlSi7Mg-Probe scheint die Änderung der

Dichte mit der Temperatur nicht wesentlich zu beeinflussen. Unterschiedliche Porengrößen in AlSi7Mg-Schäumen scheinen ebenfalls keine signifikanten Auswirkungen auf das Dichteverhalten zu nehmen.

In der Literatur wird berichtet, dass bei Metallschäumen das Verhalten des WAK (Wärmeausdehnungskoeffizient) dem des kompakten, vollständig dichten Materials ähnelt [3], während sich die Temperaturleitfähigkeit verringert [2]. Dies trifft eindeutig auf die hier untersuchten Materialien zu, wie aus den in Abbildung 2 dargestellten WAK-Daten hervorgeht.



1 Dichte in Abhängigkeit von der Temperatur für a) die drei AlSi7Mg-Schaumproben mit kleinen, mittleren und großen Poren und b) für die kompakte AlSi7Mg-Probe



2 Längenausdehnungskoeffizienten für das vollständig dichte Material sowie für die drei AlSi7Mg-Schäume mit unterschiedlichen Porengrößen

Ein Vergleich der WAK-Kurven in Abbildung 2 zeigt, dass die Kurven der vollständig dichten, kompakten Probe und der Probe mit großen Poren interessanterweise nahezu deckungsgleich sind. Diese beiden Proben haben eine geringere Gesamtoberfläche (intern plus extern) als die Proben mit mittleren und kleinen Poren und könnten daher eine stärkere Trägheit gegenüber Temperaturänderungen aufweisen. Da bei der Dilatometrie die Messungen in der Regel dynamisch mit einer bestimmten Heizrate durchgeführt werden, dürften diese Proben langsamer equilibrieren als die Proben mit mittleren und kleinen Poren und könnten daher in ihrem Ansprechverhalten leicht "hinterher hängen". Dies ist eine mögliche Erklärung für die geringen Unterschiede in den Messkurven in Abbildung 2, die folglich durch eine Mischung aus probenspezifischen und messtechnischen Effekten verursacht sein könnten.

AlSiMg-Legierungen weisen bekanntermaßen Ausscheidungs-/Nachhärtungseffekte auf, die ebenfalls eine wichtige Rolle spielen können. Die sich aus DSC-Messungen (DSC = dynamische Differenz-Kalorimetrie) ergebenden Daten zur spezifischen Wärmekapazität der Proben zeigen leicht exotherme Effekte im Temperaturbereich zwischen 250 °C und 400 °C [2]. Die mittels LFA ermittelte Temperaturleitfähigkeit weist in diesem Temperaturbereich ebenfalls eine Abweichung vom monotonen Trend auf [2]. Auch die WAK-Kurven lassen in diesem Temperaturbereich Extrema erkennen, die wahrscheinlich mit der Ausscheidungshärtung zusammenhängen. Die unterschiedliche Intensität dieser Effekte könnte der Grund für die Unterschiede in den Kurven in Abbildung 2 sein.

Zusammenfassung

Dilatometermessungen an einem kompakten, vollständig dichten AlSi7Mg-Material und drei AlSi7Mg-Schäumen mit unterschiedlichen Porengrößen ergaben ein ähnliches Verhalten des thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) für alle untersuchten Proben, unabhängig von der Porengröße. Die Tendenz hinsichtlich der Dichteänderung ist bei allen Proben in etwa gleich. Die Temperaturleitfähigkeit der Proben, eine weitere thermophysikalische Eigenschaft, zeigt keine solche Invarianz in Bezug auf die Porengröße der Proben. Untersuchungen zeigten [1, 2], dass sie mit zunehmender Porengröße abnimmt.

Literatur

- [1] A. Lauerer, A. Lunev, Experimental evidence of gas-mediated heat transfer in porous solids measured by the flash method, Int. J. Therm. Sci., under review, June 2022.
- [2] A. Lunev, A. Lauerer, V. Zborovskii, F. Leonard, Digital twin of a laser flash experiment helps to assess the thermal performance of metal foams, Int. J. Therm. Sci., 181, 107743, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107743>
- [3] URL: <https://slidetodoc.com/metal-foam-introduction-a-metal-foam-is-a/>, visited on 06/22/2022