

## Zellulare Werkstoffe aus Metall

# Funktionelle Bauteile aus offenporigen Metallschäumen

*Zelluläre Werkstoffe werden in technischen Anwendungen überwiegend in gewichtssparenden Sandwichstrukturen eingesetzt. Durch offenporige Werkstoffe werden neue Anwendungsfelder ermöglicht.*

*Um offene Porositäten in metallischen Werkstoffen zu erzeugen, können durch ein modifiziertes Feingussverfahren endkonturnahe Bauteile mit unterschiedlichen Porengrößen hergestellt werden. Die Bauteile sind auf die Anwendung abgestimmt oder in Form von Halbzeugen lieferbar.*



In der technischen Mechanik spricht man von Körpern als einem zusammenhängenden Gebilde, das ohne Zwischenräume mit Materie gefüllt ist. Jedem Punkt in dem Körper wird ein Volumenelement  $dV$  mit der Masse  $dm$  aus einem bestimmten Material zugeordnet. Daraus definiert sich die Dichte  $\rho(r,t) := dm/dV$  und die Gesamtmasse  $m := \int dm$ . In diesem Konzept sind Hohlräume unliebsame Fehlstellen die unerwünschte Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften des Körpers ausüben.

Offenporige Metallschäume zählen zu der Gruppe zellulärer Materialien die sich raumfüllend aus Zellen aufbauen, deren Begrenzungen in Form von Flächen oder Kanten den Körper aufbauen (1,2). Für die offenporigen Metallschäume werden die Hohlräume zum konstruktiven Element, die scharfen Phasengrenzen zwischen Körper und Umgebung werden mit in das Innere des Körpers ausgedehnt. Der zelluläre Aufbau kombiniert im Körper Material- und Struktureigenschaften. Anhand dieser Betrachtungen lassen sich einige Unterschiede zu herkömmlichen Materialeigenschaften herausstellen:

- Bei der Beschreibung offenporiger Metallschäume ist neben den reinen Materialeigenschaften noch die Angabe über Geometrie der Zelle, Anzahl der Zellen pro Einheit und der Geometrie des zellulären Körpers zur vollständigen Charakterisierung erforderlich.
- Für die Eigenschaften ergeben sich
  - durch einen geringen Materialeinsatz von ca. 10% auf den Festkörper bezogen resultiert entsprechend ein geringes Gewicht mit relativ hohen Werten an Festigkeit und Steifigkeit.
  - Eine sehr große Oberflächen-Volumen-Relation erzeugt eine hohe Reaktionsfläche für Energie- und Materialaustausch.
  - Die dreidimensionale Vernetzung der Stege ermöglicht kurze Wege für Energie- und Materialtransport, die Verteilung erfolgt über das gesamte Volumen.
  - Aufgrund der geringen Masse ergeben sich schnelle Reaktionszeiten auf Änderungen im Wärmestrom.

## Beschreibung der Struktur

Die Grundstruktur der Einheitszelle kann idealer Weise als Pentagondodekaeder beschrieben werden. Die Kanten der Zelle sind die Stege, die aus dem verwendeten Metall bestehen. Die Zellgröße wird über die Anzahl der Zellen entlang einer Strecke von einem inch festgelegt, und ergibt als Einheit Poren per inch: ppi. Die Grundstruktur ist aufgrund von Unsymmetrien im Herstellungsprozess nicht ideal. Die Zellgröße und das Verhältnis von großem zu kleinem Öffnungswinkel unterliegt statistischen Schwankungen. Die mittlere Zellweite für gießtechnisch hergestellte Metallschäume variiert bei 10ppi zwischen 4-2mm und bei 40ppi zwischen 0,5-0,2mm. Der Stegquerschnitt beträgt bei 10ppi ca.  $1\text{mm}^2$ . Zur Bestimmung der Schwankungsbreite wurden aus 8 Platten 10ppi Aluminiumschaum 1000 Prüfkörper hergestellt und die Gewichtsdaten ausgewertet. Die Schwankungsbreite zwischen den Platten betrug  $\pm 15\%$ , innerhalb der Platte  $\pm 20\%$ . Die Schwankung innerhalb der Platte sind höher, da lokale Schwankungen der Zellgröße sich statistisch auf die gesamte Platte ausmitteln und in der Plattenstatistik stärker berücksichtigt werden.

## Mechanische Eigenschaften

Bei geringen äußeren Kräften halten entsprechende innere Druck- und Zugkräfte das Gleichgewicht. Im Falle eines äußeren Druckes werden eingeleitete Kräfte in Teilkräfte zerlegt. Die einzelnen Stege werden zunächst nur in Zug- oder Druckrichtung belastet. Biegespannungen treten in dieser Phase noch nicht auf. Im Diagramm entspricht dieser Bereich dem linearen Anstieg der Kurve und ist nicht mit dem elastischen Verhalten eines Festkörpers vergleichbar, da bereits in dieser Phase irreversible Verformungen auftreten (3). Eine weitere Erhöhung der äußeren Kraft verformt den Prüfling, da sich im Inneren sogenannte Versagenszonen ausbilden (s. Bild 1, Diagramm 1-3). Bereiche mit dünnen Stegen oder großen Poren werden zuerst verdichtet und so weit verfestigt bis sich neue Versagenszonen bilden. Dieser Vorgang wiederholt sich bis zur vollständigen Verdichtung der Struktur und entspricht dem Plateau der Stauchungskurve.

Daher zeigen die offenporigen Metallschäume Spannungs-Stauchungskurven mit nahezu konstantem Plateau auf niedrigem Spannungsniveau. Die Werte für das Spannungsniveau sind nur gering von der Dynamik abhängig und eignen sich daher sehr gut als Energieabsorber. Durch die Wahl des Grundmaterials und der Geometrie des Bauteils kann die absorbierte Energie eingestellt werden. Sie absorbierte Energie entspricht der Fläche unter der Druckkurve.

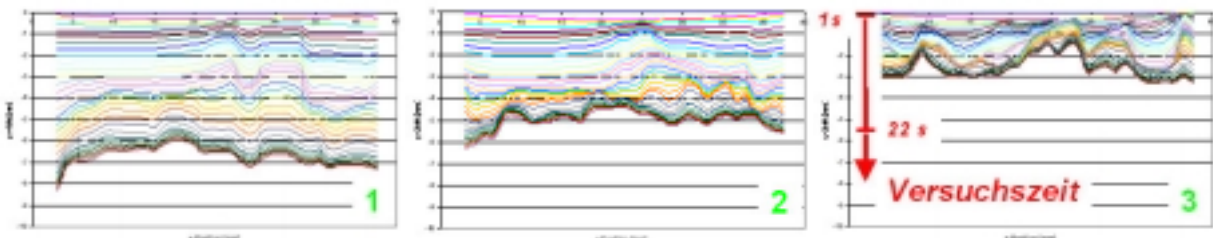
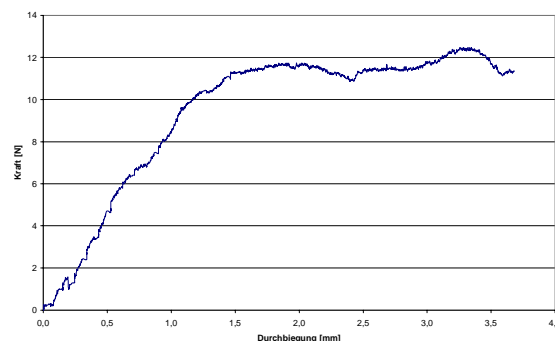
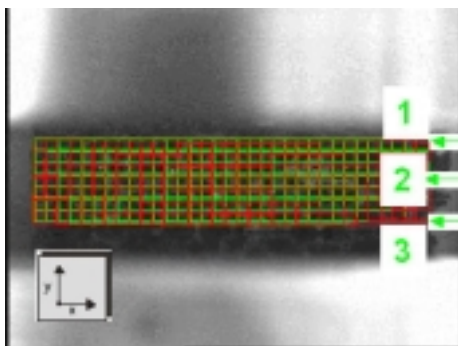


Bild 1.: Die Diagramme 1-3 {y-Verschiebung = f (x-Position)} charakterisieren jeweils das lokale Verformungsverhalten der im Bild oben gekennzeichneten Messreihen. Jede Einzelkurve in den Diagrammen entspricht einem zeitlichen Verformungszustand während des Druckversuches (gleiche Farbe = gleiche Zeit)

## **Wärmetauscher**

Die Wärmeleitfähigkeit des Basismaterials, meist Aluminium ermöglicht den Aufbau von Wärmetauschern, die aufgrund der geringen Masse und der großen Oberfläche sehr schnell große Wärmemengen transportieren.

Am Beispiel von explosionshemmenden Matten wurde der Nachweis geführt, das Gas- und Staubexplosionen im Ansatz unterdrückt werden können (Bild 2).

Die offene Struktur ist für fluide Medien durchströmbar und ist daher geeignet diese Medien zu heizen oder zu kühlen. Das durchströmende Medium tauscht Wärmeenergie mit der Metallstruktur aus. Von der Metallstruktur wird die Wärme auf ein Reservoir oder eine andere Metallstruktur übertragen von der die Wärmeenergie in ein anderes Medium abgeführt werden kann.

Anwendungsmöglichkeiten bestehen in der Kühlung von Medien, Kühlkörper für Elektronikbauteile, Latentwärmespeicher oder Kühlung durch äußere Verdunstungskühlung.

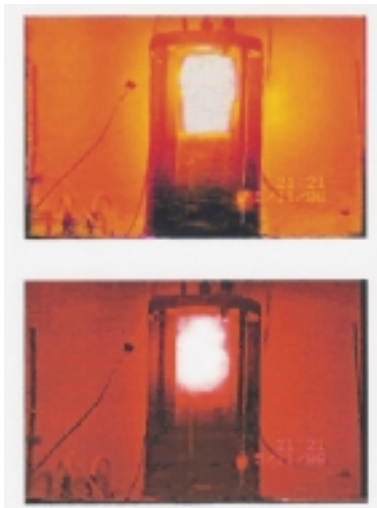


Bild 2: Ein bis zur Hälfte mit offenporigem Aluminiumschaum gefüllter Zylinder unterdrückt die weitere Ausbreitung der Explosion.

## **Katalysator**

Die Verteilung der Wärmeenergie ist wie die Aufnahmen mit der Wärmebildkamera zeigen sehr gleichmäßig, Gradienten werden aufgrund der geringen Masse schnell ausgeglichen (Bild 3).

Dadurch werden über das gesamte Volumen auf der Oberfläche der Metallstruktur konstante Reaktionsbedingungen geschaffen. Aufgrund der geringen Masse sind kurze Aufheizphasen realisierbar die mit dem gleichmäßigen Temperaturprofil und der guten Durchmischung der Reaktanten optimale Reaktionsbedingungen ermöglichen. Exotherme Reaktionen können durch entsprechende Wärmeabfuhr in ihrem Ablauf eingestellt werden.

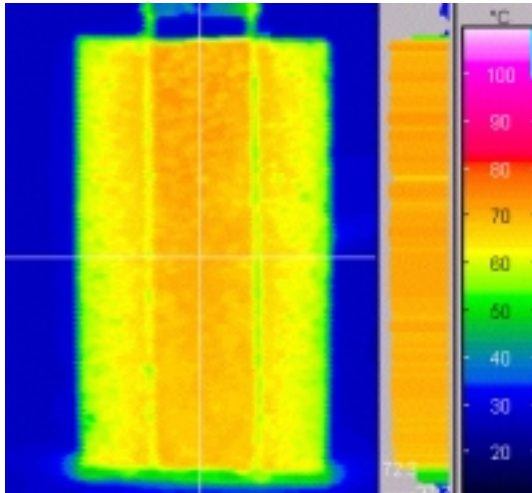


Bild 3: Zylindrischer Wärmetauscher mit Innenrohr (4). Die Wärme wird gleichmäßig über das gesamte Volumen verteilt. Die Abkühlung erfolgt ohne Gradient.

## **Zusammenfassung**

Die im gießtechnischen Verfahren hergestellten offenporigen Metallschäume bieten für viele Anwendungsfelder neue Perspektiven in der Produktentwicklung.

Mit steigenden Anforderungen an die Materialien hinsichtlich Funktionalität, gewichtsreduzierter Bauweise und Recyclingfähigkeit werden mit breiter werdender Datenbasis die offenporigen Metallschäume ihren Platz als konventioneller Werkstoff finden.

## Literaturverzeichnis

- 1) Cellular Solids, Structure and Properties 2nd Ed., L. J. Gibson, M.F. Ashby  
Cambridge University Press 1999
- 2) Handbook of Cellular Metals, Edited by H.-P. Degischer, B. Kriszt, Wiley-VCH 2002
- 3) Chemnitzer Werkstoffmechanik GmbH, Charakterisation des Deformationsverhaltens von offenporigem Metallschaum (UNIDAC)
- 4) Institut für Luft und Kältetechnik in Dresden,  
Open pore metal foams for heat exchange, D. Girlich, U. Franzke, Advanced  
Engineering Materials 2001, 3, No. 6

Autor:

Dr. rer. nat. Dieter Girlich  
Geschäftsführer  
m-pore GmbH  
Enderstraße 94  
01277 Dresden  
0351 2502290  
info@m-pore.de