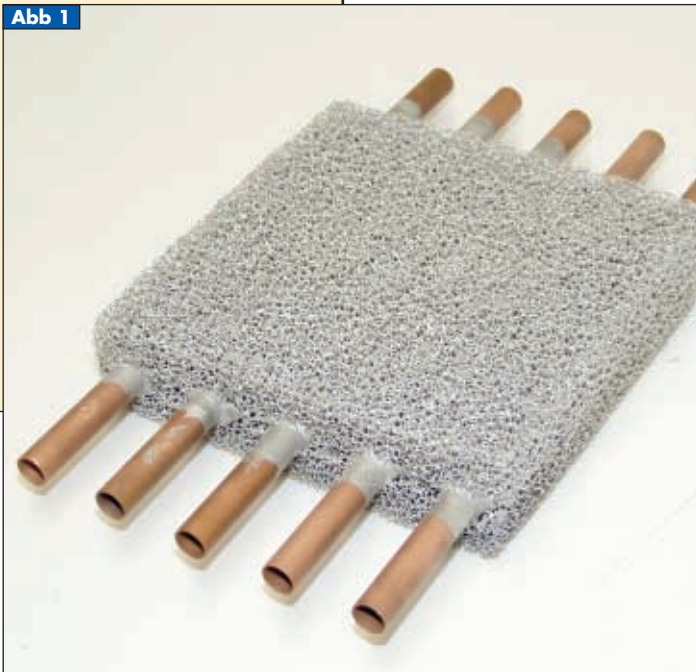




Metallschäume in der Wärmetechnik

Abb 1



- ▶ **Einsatzmöglichkeiten in der Luft-, Kälte- und Wärmetechnik**
- ▶ **thermische und strömungstechnische Eigenschaften über Algorithmen berechenbar**
- ▶ **Designkriterien für Komponenten wurden entwickelt**
- ▶ **Herstellungsverfahren ermöglicht hohe Produktvielfalt**

Metallschaum als Wärmeübertrager

Seit etwa 20 Jahren gelingt es, mit verschiedenen Herstellungsverfahren offene porige Metallschäume herzustellen. Diese Werkstoffe haben erstaunliche Eigenschaften: Ähnlich aufgebaut wie natürliches Knochengewebe erreichen sie bei geringem Gewicht eine bemerkenswerte mechanische Festigkeit. Mehr noch – gasförmige und flüssige Medien können die Struktur durchströmen und werden dabei verwirbelt. Gleichzeitig erlaubt die große innere Oberfläche und die gute Wärmeleitfähigkeit des Metallschaums die Übertragung großer Wärmemengen. Aufgrund dieser Eigenschaften liegt es nahe, den Werkstoff in der Klima-, Kälte- und Lufttechnik einzusetzen. Insbesondere für die Konstruktion von Wärmeübertragern besteht ein erhebliches Anwendungspotenzial. Bisher gibt es noch kein vollständiges Modell, das die thermischen und physikalischen Eigenschaften der neuen Werkstoffe vollständig beschreibt und mit dem die Einsatzmöglichkeiten allgemein bewertet

werden können. Einzelne Komponenten wurden zwar schon für spezielle Anwendungen entwickelt, die Ergebnisse für andere erwiesen sich bisher aber als wenig praktikabel. In einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) geförderten Verbundprojekt wurden diese Wissenslücken geschlossen. Die theoretisch-experimentellen Untersuchungen wurden im Institut für Luft- und Kältetechnik in Dresden durchgeführt. Die erforderlichen Proben und Materialien entwickelte die m-pore GmbH. Zunächst waren Rechenmethoden und Algorithmen zur Beschreibung der physikalisch-technischen Eigenschaften der Werkstoffe zu entwickeln. Damit sollten Kriterien formuliert werden, wie Komponenten der Klima- und Kältetechnik mit Metallschäumen ausgelegt werden können. Auch wenn eine konkrete Produktentwicklung nicht Ziel dieses Vorhabens war, sollten Chancen und Grenzen der Anwendbarkeit für verschiedene Einsatzgebiete mit Labormustern aufgezeigt werden.

► Herstellung

Die Herstellung des offenporigen Metallschaums erfolgt durch ein eigens entwickeltes und patentiertes Feingussverfahren: Ausgangsmaterial ist ein offenporiger, mit Wachs stabilisierter Kunststoff, dessen Porengrößen und Stegdicken die Eigenschaften des Metallschaumes vorgeben.

Der Kunststoff wird in einer Kuvette mit einer feuerfesten Masse umgossen. Nach Trocknung und Brennen der Feuerfestmasse wird das Modell mit flüssigem Metall ausgegossen. Der Kunststoff schmilzt und das Metall nimmt dessen Volumen ein. Nach dem Erstarren des Metalls wird der

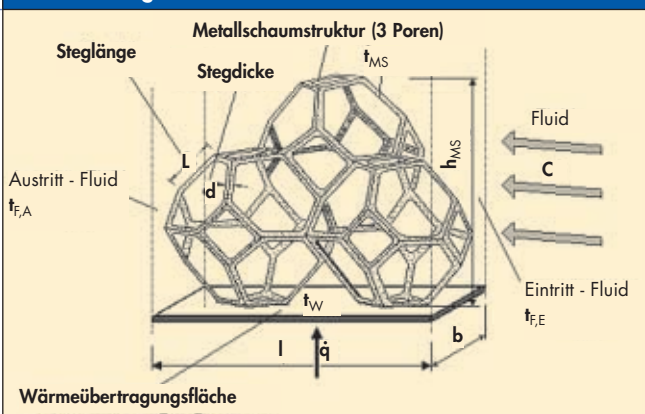
Formstoff entfernt. Das Verfahren ermöglicht die Herstellung von Stegstrukturen mit bis zu 0,2 mm Durchmesser und eignet sich für alle gussfähigen Metalle.

► Eigenschaften

Der Werkstoff hat aufgrund seiner Porosität nur etwa 6-15% der Dichte seines Ausgangsmaterials. Er lässt sich bohren, sägen und fräsen. Für die praktische Anwendung von Metallschaumkomponenten sind zu meist der Druckverlust bei Durchströmung der Struktur und der Wärmeübergang von Bedeutung. Diese strömungstechnischen und thermischen Eigenschaften bestimmen wenige Materialparameter: das Ausgangsmaterial, Porendichte, Stegdicke und Stegform (Abb 2), d.h. die Struktureigenschaften dominieren die Materialeigenschaften.

Für die Berechnung der Struktureigenschaften wurden Algorithmen entwickelt, die allgemein gültig und auf Basis der einfach zu bestimmenden Parameter eine Auslegung von Metallschaumkomponenten ermöglichen.

Abb 2: Kenngrößen einer Metallschaumstruktur



► Allgemeine Designkriterien

Auf Basis der grundlegenden Materialuntersuchungen und eines während des Forschungsvorhabens entwickelten Simulationsprogrammes können allgemeine Designkriterien für den Einsatz von Metallschäumen in Komponenten der Klima-, Kälte- und Lufttechnik definiert werden:

Strömungstechnische Anforderungen

Um Druckverluste gering zu halten, sollten bei möglichst geringen Durchströmlängen bevorzugt Metallschäume mit geringer Porendichte – bis etwa 20 Poren pro Inch [ppi] – eingesetzt werden. Gleichzeitig sollte die Anströmfläche groß sein.

Wärmetechnische Anforderungen

Wichtig ist die stoffschlüssige Anbindung an eine Wärmekontaktfläche. Hierfür bewähren sich insbesondere Lötverfahren. Dabei ist eine veränderliche Porendichte

von Vorteil: Eine dichtere Struktur verbessert die Anbindung zur Wärmekontaktfläche. Mit zunehmender Metallschaumhöhe kann die Struktur gröber werden. Die optimale Metallschaumhöhe über die Wärmekontaktfläche beträgt bei Durchströmung der Struktur zwischen 15 und 20 mm. Bei einer zylinderförmigen Stegform sollte Metallschaum von mindesten 20 ppi und bei einer kreuzförmigen Stegform von mindesten 10 ppi genutzt werden.

Die optimale Wärmeübertragung wird bereits bei Anströmgeschwindigkeiten von ca. 1 bis 2 m/s erzielt. Höhere Anströmgeschwindigkeiten verbessern den Wärmeübergang nicht mehr wesentlich. Die besten wärmetechnischen Ergebnisse werden mit Fluiden erzielt.

Weitere praxisrelevante Kriterien

Akustische Untersuchungen haben gezeigt, dass Metallschaum selbst keine guten

schallabsorbierenden Eigenschaften besitzt. Aber der Metallschaum beeinflusst die Schallausbreitung im Raum, was z.B. für ein positives Klangempfinden genutzt werden kann. Des Weiteren beeinflussen Metallschaumkonstruktionen Magnetfelder. Dies kann genutzt werden, um Anforderungen der elektromagnetischen Verträglichkeit von Bauelementen zu erfüllen.

Metallschaum-Komponenten können spezielle Lichteffekte erzielen und Räume architektonisch akzentuieren. Ferner sind Metallschäume sehr gute Energieabsorber und deshalb für das Crashdesign gefährdeter Bauteile geeignet. Exemplarisch werden im Folgenden einige Ergebnisse vorgestellt, die zum einen Erfolg versprechende Lösungen aufzeigen und zum anderen auch die Grenzen der Anwendbarkeit verdeutlichen.

► Kühldecken

Mit ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit könnten Metallschäume die Effizienz von Kühldecken verbessern. Den Versuchsaufbau einer Metallschaumkühldecke zeigt Abb 3. Der Metallschaum hat eine Porendichte von 20 ppi. Die Verbindung zu den Kunststoffkapillarrohren konnte im Rahmen des Forschungsvorhabens nur durch sanftes Anpressen erfolgen, womit ein erheblicher Nachteil für die Wärmeübertragung in

Kauf genommen wurde. Trotzdem erreicht diese Konstruktion bereits die gleichen technischen Daten, wie die handelsüblichen Kühldeckenelemente. Der Aufwand lässt sich bei höherer Effizienz deutlich verringern, wenn das Kühlwasser direkt einen mit Metallschaum gefüllten und nach außen dichten Hohlraum durchläuft.

Abb 3: Metallschaumkühldecke im Messraum



► Kühlelement für Kühlwasser

Mit dem entwickelten Instrumentarium wurde ein kompakter Metallschaumkühler für die Kühlung von Wasser ausgelegt. Bei einer Kühlwassertemperatur von 20°C soll Wasser von ca. 40 auf etwa 33°C heruntergekühlt werden. Beide Fluide strömen entgegengerichtet durch Metallschaum mit einer Porendichte von 20 ppi und einer relativen Dichte von ca. 10%. Die Wärmeübertrager-Fläche besteht aus 2 mm dickem Kupferblech. Zur Verbesserung der Wärmeübertragung sind diese auf beiden Seiten parallel zur Strömungsrichtung berippt. Die Rippen-

höhe beträgt 2,5 mm. Der Metallschaum ist mit der berippten Wärmeübertrager-Fläche verlötet. Das zu kühlende Wasser strömt im mittleren Kanalteil (s. Abb 4).

Bereits mit einer Baulänge von 200mm kann unter diesen Bedingungen eine Kühlleistung von ca. 500 W (theoretisch, ohne Verluste) erreicht werden. Messungen am Kühler haben den Leistungswert mit ca. 480 W gut bestätigt. Weiteres Potenzial zur Reduzierung der Baulänge bei gleich bleibender Leistung und ungefähr gleichen Druckverlusten verspricht der Einsatz von Metall-

Abb 4: Aufbau eines Kühlelements für Wasser



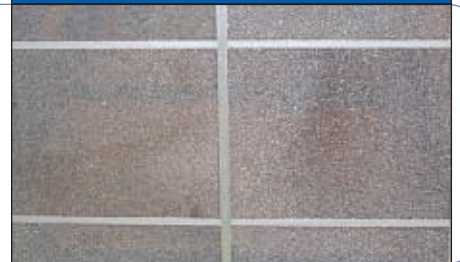
schaum mit einer Porendichte von 10 ppi und einer Stegform mit vergrößerter Oberfläche (so genannte Kreuzform).

► Strömungsvergleichmäßiger

In kurzen und nicht kreisrunden Strömungskanälen sorgen Gleichrichter und Siebe für gleichmäßige Strömungsverhältnisse über den Querschnitt. Während die Gleichrichter die Querkomponenten einer Strömung abbauen, helfen Siebe die Strömung über den Querschnitt zu verteilen. Aufgrund seiner Struktur kann der Metall-

schaum beide Eigenschaften in sich vereinen. Der Vorteil des Metallschaums gegenüber herkömmlichen Gleichrichtern und Sieben liegt in seinem einfacheren und robusteren Aufbau (Abb 5).

Abb 5: Strömungsvergleichmäßiger aus Metallschaum (20 mm dick)

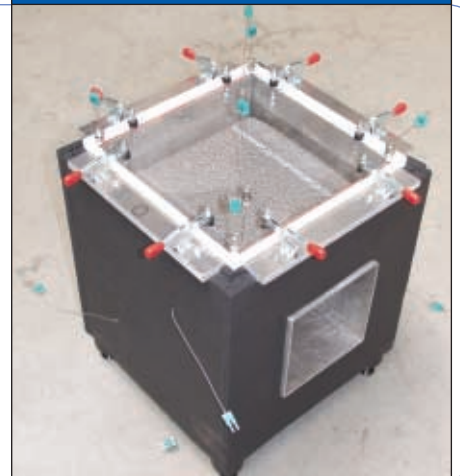


► Wärmeübertrager in Latentwärmespeichern

Abb 6 zeigt einen Modellspeicher gefüllt mit dem Speichermedium Wasser. Das Volumen dieses Metallschaums im Speicher beträgt ca. 0,42 m³. Der Kanalquerschnitt zur Be- und Entladung des Speichers beträgt hier ca. 0,04 m² und wird mit Kaltluft durchströmt. Zur Vergleichmäßigung der Strömung und zur Verbesserung des Wärmeüberganges im Kanal ist ein Gleichrichter in Gitterform im Kanal fest integriert. Bei einer Vorlauftemperatur von ca. -20°C dauert die Beladung ca. 4,5 Stunden. Unter nahezu den gleichen Bedingungen ist beim Speichermedium Paraffin die Beladung nach 2,8 Stunden beendet.

Die Untersuchungen am Modellspeicher zeigen, dass der Metallschaum die Wärmeleitung in Latentspeichern signifikant verbessert. Bei Wasser steigt der durchschnittliche Wärmeleitwert um den Faktor 12 von 0,6 W/(mK) auf 7,2 W/(mK). Für Paraffin ist eine Verbesserung um den Faktor 31 erzielt worden (von 0,2 W/(mK) auf 6,3 W/(mK)). Dabei kann die Konstruktion über die Größe der Wärmekontakfläche und der Metallschaummenge noch erheblich optimiert werden.

Abb 6: Latentwärmespeicher mit Metallschaum als Trägermaterial



► Wärmerohr für PC-Kühlung

Wärmerohre dienen der Prozessorkühlung in einem PC. Ein im Röhrchen zirkulierendes Kältemittel verteilt die Wärme von dem Wärmerohrfuß über die gesamte Rohrlänge. Abb 7 zeigt drei verschiedene Kühlflächen-Konstruktionen einschließlich einer Metallschaumvariante. Die durchschnittliche Metallschaumhöhe beträgt 12 mm und die Porendichte 10 ppi. Im Vergleich zeigt die Metallschaumkonstruktion die beste Kühlleistung. Eine weitere Verbesserung verspricht die Vergrößerung der äußeren Metallschaumbooberfläche. Praktisch erreicht man das durch Einfräsen von Ringspalten

über den Umfang. Insgesamt reicht das Kühlniveau aber noch nicht für moderne leistungsstarke Prozessoren, für die eine Fußtemperatur von ca. 65 °C bei 115 W erreicht werden soll.

Abb 7: Wärmerohre für die PC-Kühlung



Fazit

Komponenten von Klima- und Kälteanlagen können mit offenporigen Metallschäumen höhere Leistungsdichten erreichen und kompakter gebaut werden. Zudem erweitert der neue Werkstoff die Möglichkeiten bei der Formgebung und Konstruktion erheblich. Für die konkrete Umsetzung in Produkte stehen jetzt Designkriterien zur Verfügung. Auch wurde die Löttechnik zur Anbindung an andere Materialien in dem Forschungsvorhaben deutlich verbessert. Damit können heute unter Laborbedingungen qualitativ hochwertige Versuchsmuster hergestellt werden.

Verglichen mit dem Entwicklungsstand von vor 5 Jahren stehen heute Werkzeuge zur Verfügung, die die Auslegung und Dimensionierung von Metallschaumkomponenten praxisrelevant ermöglichen. Somit können bereits im Vorfeld praktischer und spezieller Realisierungen die Anwendungspotenziale und -grenzen bewertet werden.

Unter den untersuchten Einsatzmöglichkeiten kristallisierten sich einige als besonders Erfolg versprechend heraus. Insbesondere Wärmeübertrager in Latentwärmespeichern und Kollektoren, Rekuperatoren und Kühlelemente für flüssige Fluide konnten erfolgreich getestet werden. Gute Ergebnisse hatten auch Strömungsvergleichmäßiger in kurzen Kanälen.

Andererseits zeigt uns der Metallschaum auch Grenzen auf. Zum Beispiel wird die Metallschaumstruktur eine fein berippte, luftdurchströmte Struktur an Wärmeübertragern nicht ersetzen können. Zwar verbessern sich die wärmetechnischen Eigenschaften, wenn die heute bekannten Designkriterien umgesetzt werden, aber dieser Vorteil hebt sich durch eine praxisuntaugliche Erhöhung des Druckverlustes wieder auf. Auch die Integration fester Sorbentien für eine Luftentfeuchtung ist nicht Erfolg versprechend.

Metallschäume vereinigen aufgrund ihrer Struktur multifunktionale Eigenschaften in einer Komponente. Sie sind sehr gut Energie absorbierend, ermöglichen Konstruktionen nach dem Leichtbauprinzip und können wärmetechnische Anforderungen umsetzen. Für die Praxis eröffnen sich damit Perspektiven für völlig neuartige Bauteil- und Komponentenkonstruktionen (z.B. im Automobilbau).

Noch gibt es wenige Produkte, die mit offenporigen Metallschäumen gefertigt sind. In naher Zukunft könnte sich dies aber ändern. Schon jetzt ist ein verstärktes Interesse der Industrie erkennbar. Insbesondere für spezielle Anwendungen im Kraftwerksanlagenbau (Wärmeübertrager), dem Katalysatorbau und bei Latentspeichern könnten die Resultate schon bald in marktfähige Produkte einfließen.

PROJEKTADRESSEN

Projektdurchführung:

- Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH
Dr.-Ing. K. Hackeschmidt
Bertolt-Brecht-Allee 20
01309 Dresden
- m-pore GmbH
Dr.-rer. nat. D. Girlich
Enderstraße 94
01277 Dresden

ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Girlich, D.; Hackeschmidt, K.; Kühn, C.: Bestimmung des Druckverlustes für offenporige Metallschäume.
In: Konstruktion, (2004), H. 4, S. 79-83
- Girlich, D.; Hackeschmidt, K.; Kühn, C. u.a.: Mechanische Kenndaten offenporiger Aluminiumschäume.
In: Konstruktion, (2004), H. 9, S. 69-74
- Girlich, D.; Hackeschmidt, K.; Kühn, C.: Bestimmung des konvektiven Wärmeübergangs offenporiger Metallschäume.
In: Konstruktion, (2005), H. 1/2, S. 54-58
- Hackeschmidt, K.; Pinnau, S.: Untersuchungen an Modellen für Metallschaum-Latentspeicher
Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH (ILK), Dresden (Hrsg.)
Dez. 2004. ILK-B-31/03-3104

Ergänzende Informationen

- Ergänzende Informationen sowie Adressen und Links finden Sie unter www.bine.info in der Rubrik „Service/InfoPlus“.

PROJEKTORGANISATION

Förderung

Bundesministerium
für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)
11019 Berlin

Projekträger Jülich (PTJ) des BMWA
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Claus Börner
52425 Jülich

Förderkennzeichen

0327336 A-C

IMPRESSUM

ISSN

0937 – 8367

Herausgeber

FIZ Karlsruhe GmbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

Autor

Dr. Franz Meyer

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit geförderter Informationsdienst der Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe GmbH.

Kontakt:

Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 9 23 79 - 44



BINE

Informationsdienst

FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn
Mechenstraße 57
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0
Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: www.bine.info