

Gießen mit gezielt einstellbarer Porosität – Seriegießverfahren zur Erzeugung von Metallschaumstrukturen

Neugebauer, R.; Vogel, R.; Hannemann, C.

*Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Korrespondenzadresse: christian.hannemann@iwu.fraunhofer.de*

Abstract

Im Rahmen der laufenden Forschung zum Thema Metallschaum am Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik wurde der Preis der Metallschaumteile als wesentlichstes Hemmnis der Markteinführung identifiziert. Das Kernproblem einmal erkannt, wird an mehreren Möglichkeiten der Kostenreduktion gearbeitet. Im Bereich der pulverschmelzmetallurgischen Herstellung besteht ein Ansatz in der Suche nach alternativen Einsatzstoffen, da die herkömmlich verwendeten sehr preisintensiv sind. Auch die Reduzierung der notwendigen Prozessschritte bei der Herstellung der Schäume ist ein vielversprechender Anknüpfungspunkt. Für beide Ansätze wurden mittlerweile positive Ergebnisse erzielt. Die Untersuchungen der mechanischen Kenndaten der Schäume dauern derzeit noch an. Perspektivisch wird mit einer zumindest teilweisen Substitution der bislang verwendeten Technologie und einer Kosteneinsparung von bis zu 75 % gerechnet.

Um jedoch Metallschaumteile in Großserie umzusetzen, fehlt bislang das passende Herstellungsverfahren. Genau in diesem Ansatz lag die Projektidee derzeitiger Forschungsaktivitäten. Das konkrete Ziel besteht in der Erzeugung von Metallschaumteilen oder zellularen Strukturen in Seriengussbauteilen mittels Adaptierung etablierter Gießverfahren, also Porenstrukturen im Serienguss.

Der vorliegende Artikel zeigt die dazu laufenden Aktivitäten des Fraunhofer IWU in Zusammenarbeit mit verschiedenen Gießereien auf. Um ein sehr breites Feld der möglichen Bauteile und Chancen der Serienverfahren abdecken zu können, wurden sowohl das Sandguss-, als auch das Niederdruckkokillen- und Druckgussverfahren untersucht. Seitens des verwendeten Werkstoffs laufen die Forschungsaktivitäten parallel in Aluminium, Zink und Bronze.

1 Ausgangssituation

Die Entwicklungen zur Einsparung von Ressourcen und Energie machen auch von traditionellen Branchen, wie der Gießereiindustrie nicht halt. Die Senkung der Materialkosten und den zu Halbzeugen oder Endprodukten verarbeiteten Rohstoffen sind wesentliche Merkmale, die durch die Integration von Porenbereichen im Inneren von Gussteilen erreicht werden sollen.

Die Porenbildung soll derart in den Seriegießprozess integriert werden, dass keine Einschränkung des konventionellen Gießens eintritt. Durch Adaptierung der bisherigen Verfahrensschritte, ohne neue zu generieren, soll die laufende Produktion zu 100% aufrechterhalten und die zusätzlich aufzuwendenden Kosten so niedrig wie möglich gehalten werden. Abgesehen von einer serientechnischen Umsetzung von Metallschaumteilen soll durch ein gezieltes Einbringen von Poren an wenig belasteten Stellen oder Masseanhäufungen in bislang hergestellten oder zukünftig zu fertigenden Gussteilen unnötiger Werkstoffeinsatz vermieden werden.

Als Sekundäreffekt wird – zusätzlich zu den Ressourcen – die anteilige Energie des Aufschmelzens und der Rohstoffgewinnung, also die Energie zur Erzeugung des zu vergießenden Metalls eingespart.

Um das wachsende Potential dieser Einsparungen zu verdeutlichen zeigen die folgenden Bilder beispielhaft die Preisentwicklung des Werkstoffs Aluminium (Abb. 1.) und den Preisanstieg der Elektroenergie (Abb. 2.).



Abb. 1: Rohstoffpreisentwicklung für Aluminium in 2010 [1].

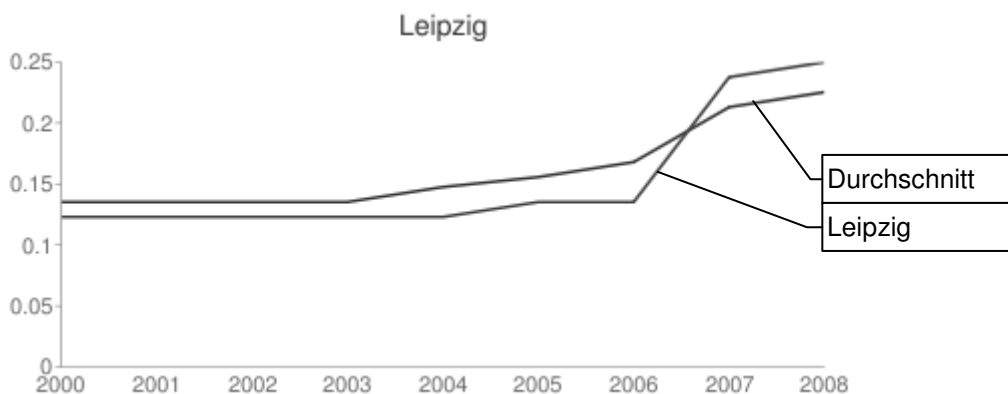


Abb. 2: Strompreisentwicklung Leipzig [2].

2 Technologieauswahl

Zusätzlich zum fachspezifischen Know-how der Abteilung Funktionsintegrierter Leichtbau am Fraunhofer IWU wurde eine Literatur- und Patentrecherche durchgeführt, die erste Ansatzpunkte aufzeigte, welche Technologien erfolgversprechend, technisch mit vertretbarem Aufwand umsetzbar und im Hinblick auf die angestrebte Serienumsetzung sinnvoll zu verfolgen sind.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen graphischen Überblick zur Einteilung der Herstellungsverfahren metallischer Schäume (Abb. 3). Die hinsichtlich ihrer Eignung genauer betrachteten Verfahren sind darin markiert.

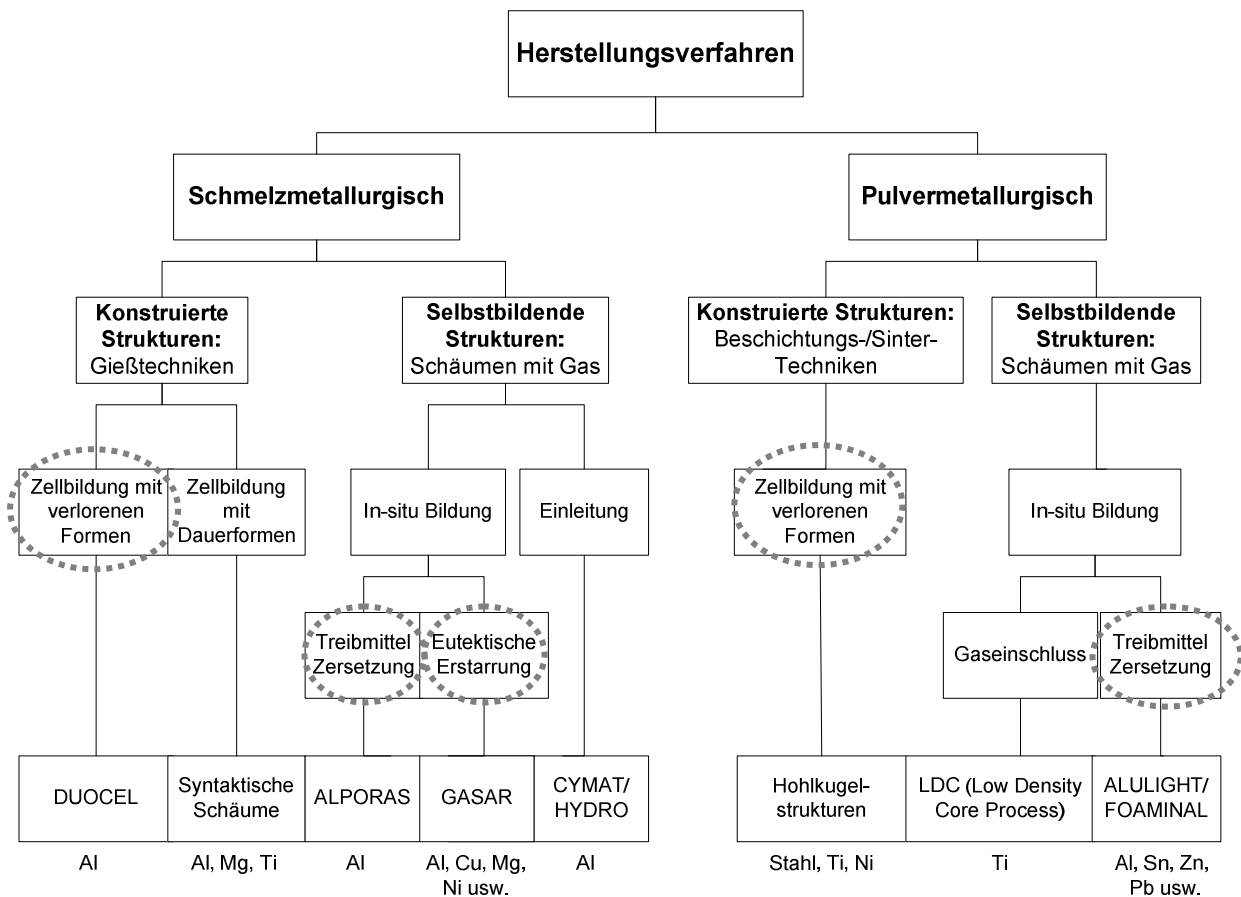


Abb. 3: Einteilung der Schäumverfahren mit Kennzeichnung derzeitiger Aktivitäten [3]

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass außerhalb des hier beschriebenen Projektes nach dem Platzhalterverfahren hergestellte Sinterstrukturen untersucht wurden. Die Praxisrelevanz bzgl. der angestrebten Werkstoffe und die Anwendbarkeit in den am Projekt beteiligten Unternehmen sind nicht gewährleistet, daher wird an dieser Stelle auf nähere Erläuterung verzichtet (kein Bezug zu Metallguss). Außerdem ist nach derzeitigem Kenntnisstand und den bislang kalkulatorisch erfassten Herstellungskosten eine Serienumsetzung sehr unwahrscheinlich. Wenn auch für das Ziel dieses Forschungsbereiches nicht relevant, bilden diese Verfahren eine wesentliche Grundlage der Untersuchungen für die Herstellung zellulärer Strukturen aus höherschmelzenden Werkstoffen, wie z.B. Stahl und Titan. Speziell im Bereich der Medizintechnik sollen derartige Strukturen helfen, Implantate mit knochenähnlichen mechanischen Eigenschaften zu erzeugen.

In Zusammenarbeit mit den Industriepartnern und den dort verwendeten Verfahren wurden parallel verschiedene Verfahren herangezogen, um Ansätze für eine Serienumsetzung der metallischen Schäume durch Gießen zu erreichen.

3 Herstellungsverfahren und Versuche

3.1 Sandguss

Beim Sandguss als einem der ältesten Gießverfahren, wird ein mehrfach verwendbares Modell von einem bindemittelhaltigen Sandformstoff umgeben, verdichtet und somit abgebildet.

Um zelluläre Strukturen im Formnest erzeugen zu können, wurden - analog dem bisher verwendeten pulvermetallurgischen Verfahren - pulverförmige Treibmittel verwendet. Beim Auftreffen der Schmelze zersetzen sich diese Treibmittel thermisch und spalten dabei ein Treibgas ab. Die Vielfältigkeit der Möglichkeiten zeigt sich bereits bei der unterschiedlichen Einbringung der Treibmittel. In ersten Testreihen wurden unterschiedliche Treibmittel (Tab. 1) und verschiedene Positionen deren Einbringung in den Gießprozess untersucht.

Tab. 1: Beispiele für in den Versuchen verwendete Treibmittel.

Treibmittel	Zersetzungstemperatur	Treibgas
TiH ₂	400 bis 800 °C	H ₂
CaCO ₃	825 bis 899 °C	CO ₂
MgH ₂	280 bis 300 °C	H ₂

So wurde z.B. TiH₂ im Angusskanal der Sandform platziert, welches von der Schmelze mitgespült und in der Form verteilt werden sollte (Abb.4). Bei der praktischen Umsetzung der ersten Versuchsreihen zusammen mit dem Projektpartner Hermann Sieg GmbH wurde schnell deutlich, dass die Benetzung der Treibmittel durch die Schmelze und der damit einhergehende Wärmeübergang eines der wesentlichen Probleme für diese Verfahrensweise darstellt. Auch eine Platzierung auf dem Gießfilter und direkt im Formnest wurde untersucht. Die Isolationswirkung des Formstoffs verursacht eine langsame Abkühlung der Sandform und somit eine langsame Erstarrung des Metalls. Diese lange Flüssigphase, in Verbindung mit der niedrigen Viskosität der Schmelze und der aufgrund des Dichteunterschiedes hohen Auftriebskraft der Gasblasen, bewirken ein nahezu vollständiges Austreten des Treibgases aus der Schmelze. Im Gegensatz zu Verfahren mit Dauerform, wie dem Kokillen- oder Druckguss ist eine schnelle Abkühlung nicht oder nur prototypisch umsetzbar und keinesfalls praxisrelevant.

Alternativ zur Platzierung des Treibmittels in der Sandform sind in der Literatur verschiedene Varianten des direkten Einrührens in die Schmelze, mit nachfolgendem Abguss beschrieben. Im Labormaßstab wurden diese Verfahrensweisen nachvollzogen (Abb. 5). Allerdings ergeben sich anderweitige Einschränkungen, da die Verarbeitungszeit der Schmelze stark von der Art des Treibmittels und dessen Zersetzungsgeschwindigkeit abhängt.

Bei Betrachtungen bezüglich der späteren Serienumsetzung und den damit verbundenen Randbedingungen wurde ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt herausgestellt. Das Gießsystem (Anguss, Speiser, Steiger etc.) wird durch die Treibmittelzusätze bzw. deren Zersetzungsprodukte kontaminiert. Die herkömmliche Verarbeitung als dem Schmelzprozess zugeführtes Kreislaufmaterial ist vermutlich nicht ohne weiteres möglich. Eine genaue Analyse der Auswirkung dieser Verunreinigungen wird vor einer Serieneinführung notwendig sein.



Abb. 4: Abguss im Sandguss.

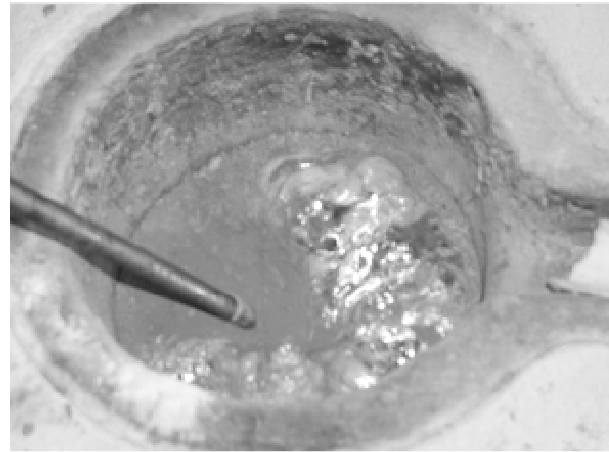


Abb. 5: Einrühren von Treibmittel.

Eine weitere parallel untersuchte Variante der Metallschaumerzeugung liegt in der Gasübersättigung der Schmelze. Die Löslichkeit von Gasen ist zumeist in der flüssigen Phase höher, als im erstarrten Zustand. Reichert man z.B. eine Aluminiumschmelze mit Wasserstoff bis zur Sättigung an, kommt es im Erstarrungsprozess zum Ausfällen von Gasblasen, die zu einer Porosität führen. Die Grundlage dieses Prozesses ist im folgenden Diagramm am Beispiel der Wasserstofflöslichkeit in Aluminium nochmals verdeutlicht (Abb. 6). Den Gießern ist dieses Verhalten als unliebsamer Effekt gut bekannt. Ein Großteil der in Gussteilen auftretenden Poren entsteht auf Basis gelösten Wasserstoffs aus der umgebenden Luft. Das Unterbinden dieses Effektes ist Gegenstand umfangreicher Anstrengungen eines jeden Gießers im Aluminiumguss. Der Ansatz diesen Effekt zu nutzen zeigt die Notwendigkeit des Umdenkens in der Traditionsbranche Guss.

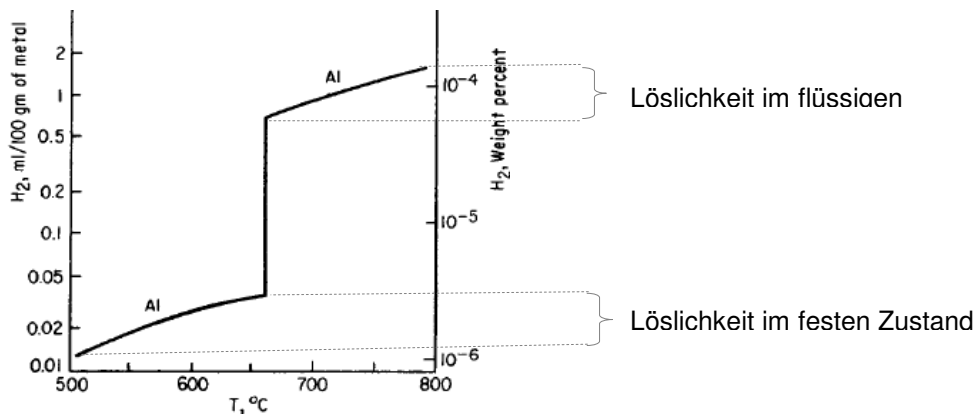


Abb. 6: Löslichkeit von Wasserstoff in Aluminium [4].

In einer Versuchsreihe zur Untersuchung der erreichbaren Porosität auf Basis des derart ausgefallenen Gases konnten nur Mikroporen analog Gießfehlern erreicht werden.

Generell erschien das Verfahren Treibgas in eine Schmelze einzuleiten die einfachste Form der Schaumerzeugung zu sein. Die Praxis zeigte jedoch, dass sich die Gasblasen analog der vorab beschriebenen Treibmittelverwendung verhalten, also aufsteigen und an der Oberfläche austreten. Zur Reduzierung dieses Effektes und zur Stabilisierung des Schaums wurden der Schmelze Keramikpartikel (SiC) zugesetzt (Abb. 7). Auch in diesem Fall gilt es, das Problem des Kreislaufmaterials zu lösen. Die Erzeugung von zellularen Strukturen aus der Schmelze heraus konnte bereits nachvollzogen werden,

jedoch wird an der Vergießbarkeit des Schaums noch gearbeitet. Generell zeigt die Herstellung von Metallschaumstrukturen im Serienschmelzguss viele noch zu betrachtende Punkte und zu lösende Probleme auf.

Einen funktionierenden Weg zur Porenerzeugung im Standardsandguss zeigt die Kombination der pulvermetallurgischen mit der gießtechnischen Verfahrensweise. Das bislang verwendete Vormaterial, bestehend aus einer kompaktierten Metall-Treibmittelmischung wurde in der Form platziert und durch die thermische Energie der aufgegossenen Schmelze aufgeschäumt. *Abb. 8* zeigt den Querschnitt durch ein rohrförmiges Gussteil, welches im Sandguss ohne Zusatz von Stabilisatoren hergestellt wurde. Der untere Bereich ist durch Drainageeffekte, also das Abfließen der Schmelze über die Zellstege dichter. Dies kann durch den Zusatz von Stabilisatoren vermindert und somit die Porenverteilung homogenisiert werden.

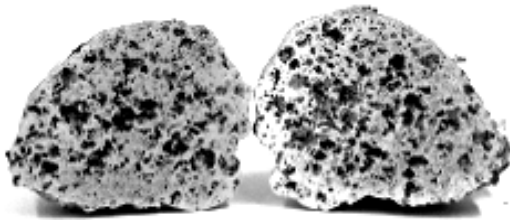


Abb. 7: Keramikstabilisierter Schaum.

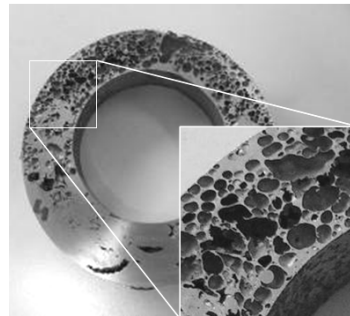


Abb. 8: Porenstruktur aus dem Sandguss .

3.2 Druckguss

Im Gegensatz zum Sandguss sind die Prozesszeiten im Druckgussverfahren extrem kurz. Somit kehrt sich auch die Problematik der langen Abkühlzeit und der möglichst langsamen Abspaltung von Gasen aus den Treibmitteln um und führt zur Notwendigkeit einer nahezu schlagartigen Zersetzung. Die flüssige Verweildauer der Schmelze in der metallischen Druckgussform liegt, je nach Material und Geometrie teilweise unter einer Sekunde. In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Elektromotorenwerk Grünhain GmbH & Co. KG wurden Metallschäumversuche unter Zusatz pulverförmiger Treibmittel an einer Druckgussmaschine mit 400 t Schließkraft durchgeführt (*Abb. 9*). Auch wenn seitens der Prozessstabilität und Homogenität der Porenstruktur noch viele Fragen offen sind, wurden bereits in der ersten Testreihe Bauteile mit einer Porenstruktur hergestellt (*Abb. 10*). Weitere Versuche mit temperierter Form und hinsichtlich der druckgusstechnischen Eignung veränderter Bauteilgeometrie werden in naher Zukunft folgen.

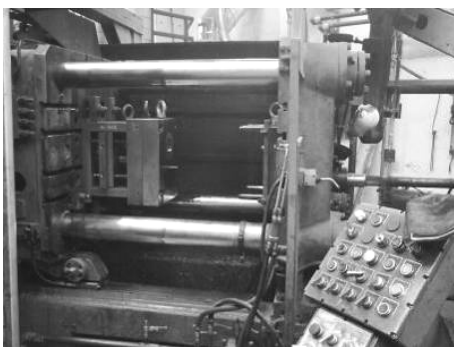


Abb. 9: Druckgießmaschine bei EMG.



Abb. 10: Erste Porendruckgussbauteile.

Was seitens des Aluminiumdruckguss noch Gegenstand der Forschung darstellt, ist im Zinkdruckguss bereits umgesetzter Stand der Technik. So hat der Projektpartner Havelländische Zink- Druckguss GmbH & Co. KG ein Verfahren zur Herstellung zellulärer Kernstrukturen entwickelt und vertreibt diese unter dem Markennamen „Zincopor®“ (Abb. 11).



Abb. 11: Serientechnologie von HZD [4].

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Zuge der Verfahrensentwicklung zur Umsetzung zellulärer metallischer Strukturen im Sand-, Druck- und Niederdruckkokillenguss sind die ersten vielversprechenden Ergebnisse erbracht und bestätigen eine generelle Machbarkeit. Die genauen Auswirkungen hinsichtlich des zu investierenden Aufwandes im Verhältnis zur Ressourcen- und Energieeinsparung sind erst nach Abschluss der momentan laufenden Forschungsarbeiten zu ermitteln. Jedoch ist das Einsparpotential erheblich und die ersten Erfolge verheißen einen Trend, der zu einem serientechnisch rentabel umsetzbaren Verfahren führen kann.

5 Literatur

- [1] ARIVA.DE AG, Angaben datiert auf den 10.01.2011
- [2] Statistisches Bundesamt - Pressestelle, Wiesbaden: Bericht „Energie in Deutschland“, September 2006 und webbasierte Veröffentlichung datiert auf 06/2008
- [3] Babscán, N.: Ceramic Particles Stabilized Aluminium Foams. Berlin, Technical University, Hahn-Meitner-Institute, Dissertation, 2003.
- [4] M. C. Flemings, Solidification Processing, Mc Grawhill, 1974
- [5] Köstler, D.: Zinkdruckgusswettbewerb 2009/2010. Düsseldorf, Pressemitteilung INITIATIVE ZINK in der Wirtschaftsvereinigung Metalle, 19.01.2010