

## Vom Rapid Prototyping profitieren auch Kunststoffverarbeiter

Rapid Prototyping werden die neuen Verfahren genannt, mit deren Hilfe funktionstüchtige Prototypen in kürzester Zeit erstellt werden können. Zeiteinsparungen von 90 % und mehr bietet diese Technik von der Anwender und Verarbeiter polymerer Werkstoffe profitieren wollen.

Die rasante Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung hatte zwar die herkömmliche Entwurfsdauer eines Kunststoffproduktes drastisch verkürzt und computergestützte Techniken wie CAD und CAM haben längst Einzug in den Konstruktionsbüros der Kunststoffverarbeiter gehalten, doch der weitere Fortschritt ist nicht aufzuhalten. Denn auch CAD und noch so brillante Software-Vielfalt hat den Nachteil, daß sie sich nicht anfassen und auf seine praktische Gebrauchstauglichkeit hin testen läßt. Es geht also darum, die aus dem CAD-Aufwand greifbaren Daten unmittelbar in ein dreidimensionales Modell umzusetzen in eine Vorlage, die schon in beschränktem Umfang Prüfungen zuläßt oder als Basis für das Abgießen provisorischer Formen zur Verfügung steht.

Das Rapid Prototyping ist in der Zeit denkbar kürzeste Weg von einer noch vagen Idee zu einem funktionellen Prototyp zu kommen. Unter dem Begriff RP oder auch Desktop Manufacturing (DTM) werden diverse Verfahren zur Herstellung von Prototypen zusammengefaßt. Erst in den letzten Jahren zur Marktreife gebracht, liegt allen den Techniken der Wunsch zugrunde, Prototypen ähnlich problemlos zu erstellen wie das Ausdrucken von CAD-Daten über einen Rechner. Allerdings ist die Vielfalt der Verfahren, die im Rahmen RP auf dem Markt kursieren, verwirrend. Neben der bekanntesten Methode, der Stereolithographie (STL), dem Selective Laser Sintering (SLS) und dem Solid Ground Curing (SGC) haben sich nach Darstellung von Wilhelm Steger, Mitarbeiter am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), seit kurzem zwei weitere Verfahren etabliert: das Laminated Object Manufacturing (LOM) und das Fused Deposition Modeling (FDM). Hier werden die Modelle schichtweise aus Kunststoff, übereinander geklebtem Papier oder Wachs aufgebaut.

Bei dem meistverwendeten Verfahren, der Stereolithographie, härten dabei sogenannte Photopolymere unter Einwirkung von Licht lokal aus. Aus den Konstruktionsdaten eines 3D-Modells wird dann schichtweise in der STL-Anlage ein Kunststoffmodell aufgebaut. Bei einem Großteil der gehandelten STL-Systeme

zeichnet beispielsweise ein Laserstrahl auf der Oberfläche eines flüssigen Kunststoffbads die Außenkonturen der Geometrie nach und schraffiert die entsprechenden Querschnitte. Anders ist es beim Laser-Sintern, das auf einem pulverförmigen Ausgangsmaterial basiert.

Das der STL-Maschine entnommene Modell steht jetzt dem Auftraggeber, aber auch dem Werkzeugbauer und Spritzgießer beispielsweise als Anschauungsexemplar zur Verfügung. Es genügt in einigen Fällen und bei nicht zu hohem Anspruch an die Werkstoffeigenschaften auch schon mal dynamischen Funktionsversuchen. Richtig zur Entfaltung aber kommt STL erst dann, wenn ihr polymeres Ergebnis als Urmodell für nachgeschaltete Abformtechniken eingesetzt wird. Favorisiert werden hier von einem Großteil der RP-Dienstleister die Mög-

lichkeiten des Vakuumgießens in Silikonformen, um dann Musterteile und Kleinserien herzustellen.

Aber auch das ist nicht der letzte Stand der Dinge. So kündigte einer der Hersteller von RP-Systemen das „erste Verfahren zur direkten Herstellung metallischer Werkzeuge mit dem Laser-Sinter-Verfahren“ an. Ziel der Entwicklung ist die schnelle Fertigung metallischer Werkzeuge zur Produktion von Kunststoff-Formteilen. Durch Einsatz eines speziellen Metallpulvers, kombiniert mit dem erwähnten SLS, sei es nach Angaben des Herstellers möglich, präzise Metallformen ohne den Umweg über ein Urmodell und ohne Folgearbeiten in einem einzigen Arbeitsgang zu fertigen. Die mechanischen Eigenschaften der gesinterten Bauteile sollen denen von Aluminium vergleichbar sein.

## Metallschaum – Ein Werkstoff mit Potential

Von J. Banhart, J. Baumeister, M. Weber, Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung (IFAM), Bremen

In den letzten Jahren haben neue Werkstoffe immer wieder Aufmerksamkeit erregt. Bis sich ein solcher Werkstoff in der industriellen Praxis jedoch durchsetzt, vergehen in der Regel acht bis zehn Jahre. Im Falle der Metallschäume ist mehr als die Hälfte dieses Weges schon durchschnitten: seit der Erfindung des Verfahrens zum Aufschäumen von Metallen aus Pulver vor fünf Jahren am IFAM [1, 2] ist die Entwicklung schon soweit gediehen, daß jetzt eine Produktion von Aluminiumschäumen bei einem industriellen Fertiger aufgebaut wird. Parallel dazu werden am IFAM das Material und die Verfahren ständig weiterentwickelt und die Machbarkeit neuer Anwendungsideen nachgewiesen.

Hochporöse metallische Schäume besitzen ein hohes Potential als Funktions- und Konstruktionswerkstoffe. Sie kombinieren ein geringes spezifisches Gewicht mit hoher Steifigkeit sowie Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit und einer Anzahl anderer, für hochporöse Materialien typischer Eigenschaften. Diese prinzipiell aus der Natur bekannten, günstigen Eigenschaftskombinationen von hochporösen Werkstoffen (Holz, Knochen etc.) sind am IFAM in Bremen auf metallische Werkstoffe übertragen worden. Ein am IFAM entwickeltes, pulvermetallurgisches Verfahren erlaubt die einfache Herstellung geschäumter Metalle auf der Basis von Aluminium und Aluminiumlegierungen, sowie einer Reihe weiterer gebräuchlicher Metalle.

### Herstellung

Das patentierte Herstellungsverfahren ist in Bild 1 dargestellt: Handelsübliches Metallpulver wird mit einem geringen Anteil eines Treibmittels vermischt. Die so erhaltene Mischung wird unter kontrollierten Bedingungen zu einem Halbzeug verdichtet und gegebenenfalls durch Walzen, Schmieden o. ä. weiterverarbeitet. Die Verdichtung geschieht typischerweise durch axiales Heißpressen oder durch Strangpressen. Das resultierende Material ist äußerlich nicht von konventionellem Metall zu unterscheiden, birgt aber das Treibmittel in seiner metallischen Matrix: es ist daher aufschäumbar. Durch Erwärmung dieses Halbzeugs bis über seinen Schmelzpunkt wird das Metall geschmolzen und die Gasfreisetzung des Treibmittels und somit der eigentliche Aufschäumvorgang ausgelöst. Richtige Prozeßparameter vorausgesetzt, expandiert die Schmelze und entwickelt eine schaumige Konsistenz. Nachdem die Expansion bis zum gewünschten Grad erfolgt ist, wird der Schäumvorgang durch Abkühlung unter den Schmelzpunkt beendet und so die Schaumstruktur stabilisiert. Man erhält einen hochporösen Werkstoff mit gleichmäßiger Porenstruktur. Am IFAM wurde das Verfahren bisher für Aluminium diverse Aluminiumlegierungen, Zink, Zinn, Bronze, Messing und Blei mit Erfolg erprobt und die Prozeßparameter für spezielle Anwendungen optimiert, wobei Aluminium und seine Legierungen jedoch

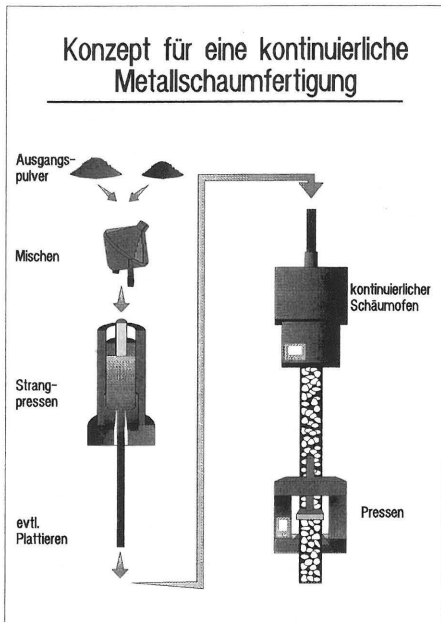


Bild 1: Prozeßschema zur Herstellung von Metallschäumen nach dem IFAM-Verfahren

aufgrund des breiten Anwendungsspektrums für Konstruktionszwecke bisher im Vordergrund des Interesses stehen. Für weitere Metalle wie z. B. Stahl, Titan oder Edelmetalle ist die Entwicklung des Schaumprozesses angedacht.

## Eigenschaften

Die Eigenschaften von Metallschäumen sind sehr vielversprechend und können durch Materialauswahl und Herstellungsparameter in einem weiten Bereich für den jeweiligen Anwendungsfall angepaßt werden: die Dichte kann für den Fall der am besten untersuchten Aluminiumschäume bis auf etwa 10 % der Massivmetалldichte reduziert werden, während Festigkeit und Steifigkeit solcher Materialien für viele Anwendungs-

fälle noch ausreichend hoch sind. Insbesondere dort, wo hohe spezifische Steifigkeiten gefordert werden, liegen potentielle Einsatzbereiche der Schäume.

Ähnlich wie von Kunststoffschäumen bekannt, besitzen auch Metallschäume ein ausgezeichnetes Energieabsorptionsvermögen. Der Grund dafür ist, daß bei plastischer Verformung der Schaum über einen weiten Stauchungsbereich hinweg auf einem nahezu konstanten Spannungsniveau bleibt. Das Spannungsniveau, bei dem die Verformung des Schaumes stattfindet, kann über die Werkstoffparameter Schaumdichte und Materialzusammensetzung auf die Applikationen und die maximal tolerierbaren Werte angepaßt werden.

Metallische Schäume weisen aufgrund ihres hohen Porenanteils eine stark reduzierte elektrische und thermische Leitfähigkeit auf, die typischerweise weniger als 1/20 der Leitfähigkeit des Matrixmetalls beträgt.

Der breite Einsatztemperaturbereich und die Nichtbrennbarkeit des Materials sind weitere wichtige Vorzüge. Vor allem soll jedoch die gute Umweltverträglichkeit des Materials hervorgehoben werden: bei der Herstellung der Aluminiumschäume müssen neben sehr geringen Mengen des Treibmittels Titanhydrid (typischerweise einige Promille Gewichtsanteil) keinerlei artfremde Zuschlagstoffe verwendet werden, so daß die Schaumprodukte wiederverwertet werden können. Darüber hinaus treten auch bei der Herstellung keine umweltbelastenden Stoffe, wie z. B. FCKW, auf.

## Verarbeitung

Das zweistufige Herstellungsverfahren (zunächst Herstellung eines aufschäumbaren Halbzeugs und danach Aktivieren des Schäumens) hat verschiedene Vorteile, die sich insbesondere bei der Bau-

teilerstellung zeigen: Es können mit ihm sehr einfach endabmessungsnahe Formteile hergestellt werden. Dazu werden Negativformen beispielsweise aus dünnwandigem Stahlblech mit dem aufschäumbaren Material gefüllt und im Ofen auf Temperaturen oberhalb des Schmelzpunktes erwärmt. Der expandierende Schaum füllt den Hohlraum völlig aus, wobei über die Menge des aufschäumbaren Halbzeugs und die Formgröße die Porosität eingestellt werden kann. Die Außenhaut der Schaumteile ist in all diesen Fällen geschlossen. Ein Beispiel für ein solches Formteil ist in Bild 2 gezeigt.

Struktur- oder Integralschäume können auch mit Aluminium realisiert werden. Diese Schaumkörper bestehen aus einem hochporösen Kern, der von einer äußeren Schicht höherer Dichte von bis zu mehreren Millimetern Dicke umgeben ist. Solche Strukturen können z. B. wie bei Kunststoffschäumen durch eine gezielte, inhomogene Temperaturführung des Schäumvorgangs hergestellt werden.

Sandwichartige Strukturen können auch durch andere Verfahren hergestellt werden [3]. Die einfachste Methode ist, Bleche aus konventionellen Materialien auf eine Kernlage aus geschäumtem Metall zu kleben. Wenn höhere Anforderungen an die thermische Belastbarkeit gestellt werden, ist eine metallische Bindung der Deckbleche zu bevorzugen. Dies kann beispielsweise durch einen speziellen Walzplattiervorgang erreicht werden. Hierbei werden artgleiche oder artfremde Deckbleche mit dem aufschäumbaren Material gemeinsam gewalzt, so daß sich zwischen ihnen eine metallische Bindung einstellt. Beim späteren Erwärmen auf Schäumtemperatur kann nur die aufschäumbare Kernlage expandieren, die Deckbleche „schwimmen“ auf, bleiben aber massiv (Bild 3).



Bild 2: Formteil aus Aluminiumschaum (Dichte 0.5 g/cm<sup>3</sup>)

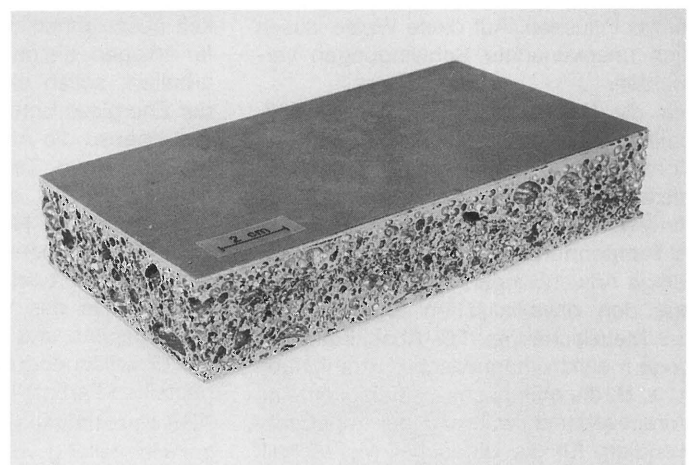


Bild 3: Sandwichverbund aus Aluminium und Aluminiumschaum

Eine analoge Fertigungsmöglichkeit ergibt sich auch für schaumgefüllte Profile, bei denen der Schaumkern entweder nachträglich eingeklebt werden kann, oder aber im Verlauf eines Ausschäumvorgangs direkt eine metallische Bindung mit dem Profilwerkstoff eingeht.

## Anwendungen

Aus den oben beschriebenen Eigenschaften und verfahrenstechnischen Möglichkeiten können eine Reihe von Anwendungen abgeleitet werden.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet liegt offensichtlich im Bereich der Energieabsorption. Durch den Einsatz von energieverzehrenden Elementen aus Aluminiumschaum ist es möglich, z. B. das Verformungsverhalten von Knautschzonen in Automobilen in Richtung auf eine maximale Energieumwandlung zu optimieren. Dasselbe gilt in analoger Weise auch für den Seitenaufprallschutz. So weisen mit Aluminiumschaum ausgefüllte Hohlprofile ein deutlich besseres Deformationsverhalten auf. Darüber hinaus ist es möglich, Karosserie- oder Fahrwerksteile mit Aluminiumschaum zu verstärken und so neben einer besseren Energieaufnahme auch eine höhere Steifigkeit der Komponenten zu erreichen. Bild 2 zeigt ein Formteil aus Aluminiumschaum, das das Ausknicken eines Automobil-Querlenkers erschweren soll.

Aufgrund des geringen spezifischen Gewichts sind Aluminiumschäume generell für Anwendungen im Bereich des Leichtbaus geeignet. Zum Beispiel würde eine Substitution von Honigwaben-Strukturen durch Platten aus Aluminiumschaum zu besseren Isotropie-Eigenschaften führen. Daneben ist speziell bei Luftfahrtanwendungen die Nichtbrennbarkeit der Metallschäume von besonderer Bedeutung.

Da der Elastizitätsmodul der geschäumten Werkstoffe über die Wahl der Dichte in weiten Bereichen variiert werden kann, ergibt sich so die Möglichkeit, die Resonanzfrequenz von Schaumbauteilen zu beeinflussen. Auf diese Weise lassen sich unerwünschte Schwingungen vermeiden.

Für die Kapselung heißer oder schall-emittierender Komponenten bieten sich Formteile aus Schaumaluminium an. In diesen Fällen kommt vor allem die im Vergleich zu Kunststoffschäumen höhere Temperaturbelastbarkeit zum Tragen. Einige Anwendungen ergeben sich auch aus den physikalischen Eigenschaften der Metallschäume. Für Abschirmungen gegen elektromagnetische Strahlungen ist z. B. die elektrische Leitfähigkeit eine Voraussetzung, während bei Impedanzwandlern für die Ultraschall-Meßtechnik die akustische Impedanz der Aluminiumschäume eine wichtige Rolle spielt. Dün-

ne Platten aus Bleischaum mit Dichten um  $2 \text{ g/cm}^3$  (massives Blei:  $11.3$ ) werden als Alternative zu herkömmlich verwendeten Elektroden oder Elektrodenträgern in Bleiakkulatoren untersucht. Andere Anwendungsideen setzen an den dekorativen Eigenschaften von Metallschäumen an, wie z. B. für Konsumgüter mit speziellen Designanforderungen oder für Schmuck.

Weitere potentielle Anwendungen für Metallschäume ergeben sich fast zwangsläufig aus ihren neuartigen Eigenschaftskombinationen. Ihre Anzahl ist praktisch nur begrenzt durch die Phantasie der Anwender.

## Wege zum Metallschaum – ein Angebot

Die Autoren diskutieren mit potentiellen Anwendern von Metallschäumen gerne die technischen Details. Falls eine tragfähige Idee vorliegt, können am Fraunhofer-Institut in Bremen Machbarkeitsstudien bis zur Herstellung von Prototypen durchgeführt werden. Außerdem kann ein Kontakt zu der Firma vermittelt werden, die eine Serienherstellung von Aluminiumschaumprodukten aufbaut.

## Literatur

- [1] J. Baumeister Verfahren zur Herstellung poröser Metallkörper, Deutsches Patent 4018360 (1990)
- [2] Baumeister, H. Schrader Verfahren zur Herstellung aufschäumbarer Metallkörper, Deutsches Patent 4101630, Europäisches Patent 0460392 (1992)
- [3] Baumeister, J. Banhart, M. Weber Metallischer Verbundwerkstoff und Verfahren zu seiner Herstellung, Deutsches Patent 4325539 (1994)

## Neues Verfahren zur Herstellung von ABS-Kunststoffen

Für die Herstellung von Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) wurde ein neues Verfahren entwickelt. Es soll sich durch Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit auszeichnen. Die Investitionskosten für Anlagen, die nach dieser Technologie arbeiten, sollen sich nahezu halbieren, der Energieverbrauch um 20 % reduzieren, ebenso die Abwassermenge um 40 %. Die neue Technologie ermöglicht darüber hinaus eine Erweiterung der Produktpalette: Neben den Standard-ABS-Typen können auch hochzähe Einstellungen hergestellt werden. Zusätzliche Vorteile des Verfahrens sind hohe Homogenität und Farbkonstanz sowie die Oberflächenqualität der daraus hergestellten Fertigteile.

ABS-Kunststoffe werden beispielsweise zur Herstellung von Gehäusen für Telefone, Staubsauger oder Büromaschinen verwendet.

## Reengineering – was steckt dahinter?

Reengineering verlangt fundamentales Überdenken und radikales Umformen von Geschäftsprozessen mit dem Ziel, Leistungsdaten wie Kosten, Qualität, Service und Geschwindigkeit drastisch zu verbessern.

Charakteristika dieses Ansatzes sind

- ehrgeizige Zielvorgaben,
- die Kundensicht als Ausgangspunkt,
- die Betrachtung und Veränderung des Unternehmens als Ganzes,
- die obere Führungsebene als treibende Kraft und
- eine straffe Projektleitung.

Bislang suchten Unternehmen für ihren Erhalt und Ausbau nach schnellen, kurzfristigen Lösungen. Dies kam zwar den Unternehmensberatern zugute, doch den Unternehmen kann es langfristig keine Vorteile schaffen, da lediglich an der Wirkung, jedoch nicht an der Ursache gearbeitet wird. Die Unternehmen können sich zwar durch kurzfristige Maßnahmen ihre Positionen am Markt sichern, doch geraten sie so gleichzeitig in einen Teufelskreis, weil sie immer schneller neue Lösungen benötigen. Es ist daher unausweichlich, daß sich das Management der Notwendigkeit zu grundlegenden Veränderungen und langfristig angelegten Strategien bewußt wird. Durch Umstrukturierung in selbständig agierende Einheiten sind eigene Kreativität und eigene Fähigkeit zur Entwicklung neuer langfristiger Lösungskonzepte einzusetzen.

Schnelle Veränderungen sind in aller Regel nur durch eine straffe Führung möglich; sie finden jedoch nur geringen Rückhalt. Nachhaltige Veränderungen erfordern hingegen einen Lernprozeß, und dieser benötigt einen längeren Atem. Ein Umdenken wird vor allem in bezug auf die Unternehmenskultur und den Führungsstil gefordert. Es genügt heutzutage nicht mehr als Manager nach altem Rezept die Mitarbeiter zu leiten und zu kontrollieren. Vielmehr müssen starre hierarchische Strukturen aufgehoben werden, um die Mitarbeiter zu Verantwortungsbewußtsein und effektiverem Arbeiten zu motivieren. Bei Delegation der Verantwortung nach unten (in hierarchischen Strukturen) wird nämlich lediglich bestimmt, wer wann wieviel Verantwortung übernimmt; selbständig handelnde Einheiten werden dadurch nicht gefördert, sondern unterdrückt. Auf diese nachhaltige Verbesserung zielt übrigens die Fraktale Fabrik. Reengineering kann kurzfristig erfolgreicher sein, aber Reengineering ergänzt das uns zur Verfügung stehende Methodenrepertoire. Für sich allein ist es nicht hinreichend.