

Forschungsergebnisse

# Optische Technologien

der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

# Entwicklung von Laser-Bearbeitungsverfahren für den Verbundwerkstoff „Hohlkugelstrukturen“

**In einem Forschungsprojekt der Baden-Württemberg Stiftung wurden für den Verbundwerkstoff „Hohlkugelstrukturen“ Laser-Bearbeitungsverfahren entwickelt. Für das Schneiden, das Schweißen und das Bohren wurden geeignete Simulationsmodelle erstellt, die experimentellen Untersuchungen wurden an einem CO<sub>2</sub>-Laser durchgeführt.**

Der Verbundwerkstoff „Hohlkugelstruktur“ (HKS) zählt zur Gruppe der zellularen Werkstoffe. Zu den charakteristischen Eigenschaften gehört eine definierte Zellgeometrie und damit ein reproduzierbarer struktureller Aufbau. Als besonders typische Eigenschaften dieses Verbundwerkstoffs können das hohe Energiedissipationsvermögen auf konstantem Spannungsniveau, gute mechanische Dämpfungseigenschaften, Schallabsorption, exzellente thermische Eigenschaften und hohe Steifigkeit bei geringer Dichte angeführt werden. Durch eine Kombination dieser Eigenschaften ergibt sich für Hohlkugelstrukturen ein breites Feld potenzieller multifunktionaler Anwendungen, z.B. als vorteilhaftes Ausgangsmaterial für den Leichtbau. Einer breiten Verwendung als Konstruktionswerkstoff steht jedoch bis heute ein Mangel an geeigneten Bearbeitungsverfahren entgegen. Klassische mechanische Verfahren zum Trennen scheitern schnell an den Besonderheiten der Hohlkugelstrukturen. So brechen beim Fräsen,

Drehen oder Bohren einzelne Kugeln aus dem Verbund aus.

Im Rahmen des Projekts wurden das Schneiden, das Schweißen und das Bohren von Hohlkugelstrukturen mit dem Laser untersucht.

Charakteristisch sind die sehr lokalen Wechselwirkungen bei allen Bearbeitungsverfahren. Lediglich innerhalb eines Nahfeldes von etwa einem Kugeldurchmesser um die Prozesszone herrschen hohe Temperaturgradienten. Bei weiteren Abständen fällt die Temperatur auf ein für den Prozess nicht mehr relevantes Niveau ab. Insbesondere für die numerische Simulation lässt sich daher der Ansatz der Homogenisierung nutzen, sowohl für stationäre als auch für transiente Analysen. Abbildung 1 zeigt beispielhaft Temperaturprofile für ein Modell zur eindimensionalen Wärmeleitung auf der Basis von exakter Geometrie und homogenisierter Struktur.

Die erzielbaren Ergebnisse für das Schneiden, Fügen und Bohren hängen stark von den strukturbeschreibenden Größen wie Kugeldurchmesser, Schallendicke und dem Basiswerkstoff ab. Geringen Einfluss hat die Anordnung der Hohlkugeln in der Struktur, was durch einen Abgleich zwischen Ergebnissen mit theoretischen, regulären Gitteranordnungen und einer realen Struktur bestätigt werden konnte.

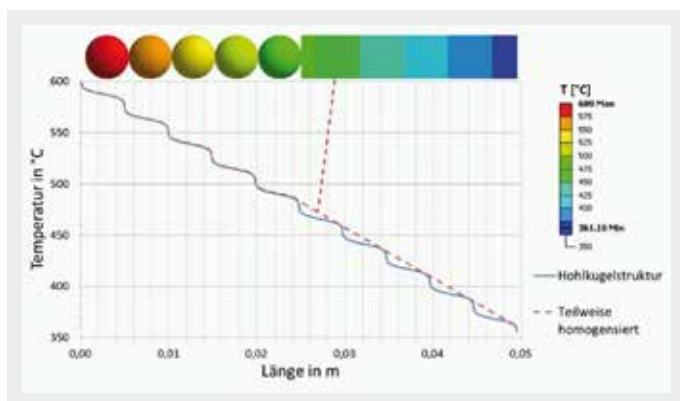
Grundsätzlich sind die Erkenntnisse auf eine breite Variation von Basiswerkstoffen der Hohlkugeln übertragbar, die Ergebnisse sind für Stahl und Edelstahl dokumentiert. Als Verbindungsarten wurden sowohl gesinterte als auch gelötete Hohlkugelstrukturen untersucht.

Bezüglich des Schneidens wurden die Prozessparameter wie Laserleistung, Schnittgeschwindigkeit, Fokusslage, Fokusslänge und Schneidgasführung zunächst über die Simulation unter Berücksichtigung der Besonderheiten der Struktur definiert und nach einer experimentellen Validierung bestmöglich angepasst. Der Schnittspalt in der porösen Struktur entsteht durch den Zerfall der Struktur beim Schmelzen im Laserstrahl. Abbildung 2 zeigt beispielhaft das Laserschneiden einer Hohlkugelstruktur. Große Schnitttiefen von bis zu 40 mm können insbesondere bei Strukturen mit geringen Dichten erreicht werden. In Abbildung 3 ist ein Teil der Ergebnisse für drei gesinterte und eine gelötete HKS dargestellt.



**Abb. 2: Laserschneiden gesintertter Hohlkugelstruktur**

Das Laserschweißen wurde anhand des Aufbaus von Sandwich-Strukturen – Blech, HKS, Blech – untersucht, sowohl mit gesinterten als auch mit gelöteten Hohlkugelstrukturen. Zug- und Drei-Punkt-Biegeversuche wurden zur Charakterisierung der Prozess- und Strukturparameter durchgeführt. Als wichtigste Einflussgröße erweist sich die Dichte der untersuchten HKS, während Schweißnahtform und Blechstär-



**Abb. 1: Homogenisierung: einzelne Hohlkugeln kombiniert mit homogenisierter HKS**

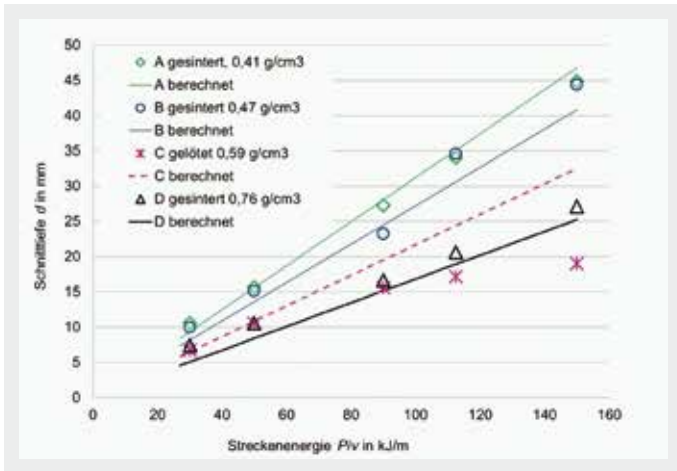


Abb. 3: Laserschneiden. Gemessene und berechnete Schnitttiefe gesintert und gelöteter HKS

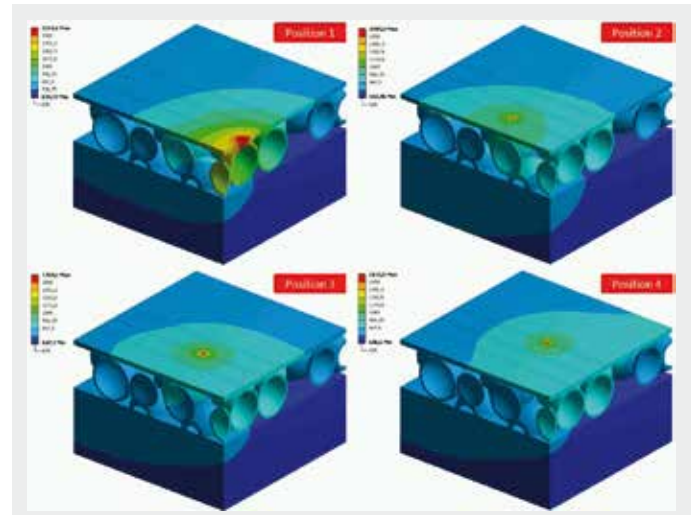


Abb. 5: Temperaturprofile für verschiedene Einspeisepositionen für das CT-basierende Simulationsmodell

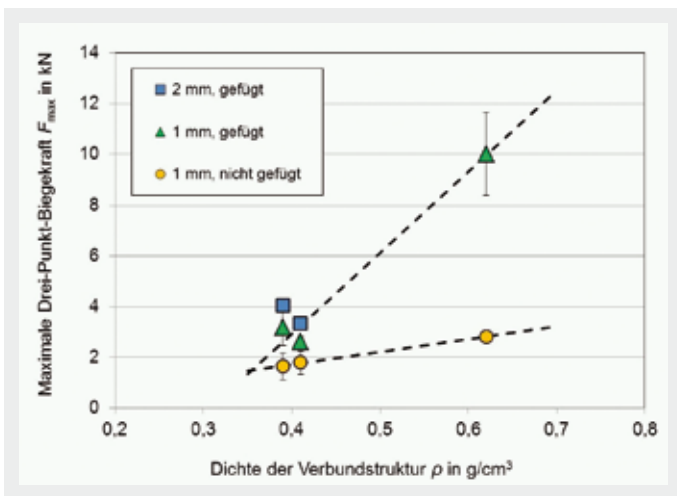


Abb. 4: Maximale Biegekraft im Dreipunkt-Biegeversuch lasergeschweißter Sandwichstrukturen

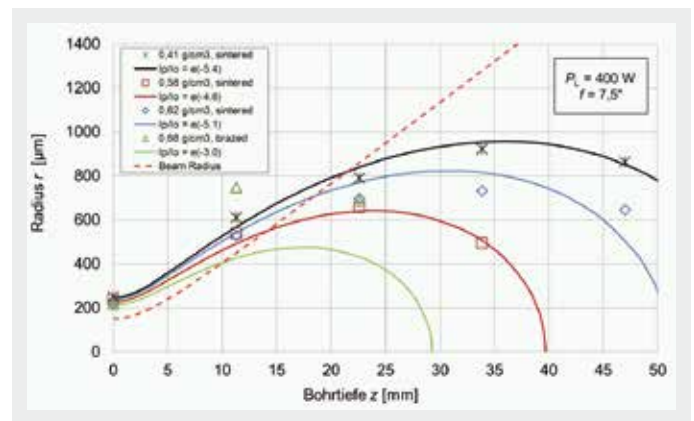


Abb. 6: Laserbohren. Bohrlochradius als Funktion der Bohrtiefe mit Isothermen

ke untergeordnete Parameter darstellen. Abbildung 4 zeigt Ergebnisse des Drei-Punkt-Biegeversuchs für lasergeschweißte Sandwichs und Abbildung 5 die simulierte Temperaturverteilung an verschiedenen Einstrahlpositionen.

Beim Bohren wurden gesinterte und gelötete HKS mit dem Perkussionsverfahren untersucht. Wie beim Schneiden zerfällt die Hohlkugelstruktur unter dem Einfluss der Wärme des Laserstrahls. Es entsteht ein Bohrloch ohne Verdampfen und ohne Schmelzauswurf. Für die Untersuchung der Geradheit und Konizität der Bohrung wurden die Rundheit und der Durchmesser als Funktion des Bohrlochs gemessen. Der Verlauf der Isothermen im Laserstrahl dominiert und bestimmt die Charakteristik des Bohrlochdurchmessers, siehe Abbildung 6. Wie

beim Laserschneiden zeichnen sich gesinterte Strukturen gegenüber gelöteten HKS durch einen höheren Prozesswirkungsgrad aus. Die Ursache liegt am Kupferanteil. Die verkupferte Oberfläche der gelöteten Struktur erhöht die Reflektivität und das Kupfer in der Struktur vergrößert die spezifische Wärmeleitfähigkeit. Beide Effekte reduzieren den Prozesswirkungsgrad.

Damit wurde im Projekt gezeigt, dass sich Hohlkugelstrukturen sehr gut mit dem Laser bearbeiten lassen: sowohl Schneiden, Schweißen als auch Bohren des Materials ist möglich. Mit Hilfe der im Projekt entwickelten Simulationen lassen sich die jeweils nötigen Prozessparameter vorab bestimmen. Das unterstützt die verbreitete Verwendung dieses Verbundwerkstoffs z.B. im Leichtbau.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Markus Merkel  
 Hochschule Aalen  
 Beethovenstr. 1  
 73430 Aalen

Tel. 07361 576-2133  
 Fax 07361 576-2270  
 markus.merkel@htw-aalen.de  
 www.htw-aalen.de

Prof. Dr. Harald Riegel  
 Hochschule Aalen  
 Beethovenstr. 1  
 73430 Aalen

Tel. 07361 576-2144  
 Fax 07361 576-2270  
 harald.riegel@htw-aalen.de  
 www.htw-aalen.de/laserlabor