

CeraMMAM – Gedruckte Multi-Material-Keramiken

Additive Fertigung von Hybridbauteilen prägt die Zukunft für Hightech-Anwendungen

Keramiken eignen sich dank ihrer hohen Festigkeit und chemischen Beständigkeit für viele Anwendungen. Die additive Fertigung mithilfe badbasierter Photopolymerisation ermöglicht die Herstellung komplexer keramischer Bauteile. Forschende des wbk Institut für Produktionstechnik haben ein Materialsystem entwickelt, um unterschiedliche Keramiken bereits während des Druckprozesses zu kombinieren. Dieses Materialsystem bildet die Grundlage für das Multi Material Additive Manufacturing (MMAM). In einem einzigen Druckvorgang lassen sich zwei keramische Werkstoffe verarbeiten und zu einem Bauteil vereinen. Dadurch lassen sich unterschiedliche funktionale, mechanische, elektrische oder thermische Eigenschaften innerhalb eines Bauteils gezielt kombinieren. Eine neu entwickelte Schlickerzusammensetzung macht diesen neuartigen Fertigungsansatz für Multi-Material-Keramiken industriell nutzbar und eröffnet neue Möglichkeiten für maßgeschneiderte Hochleistungsbauteile sowie innovative Design- und Funktionskonzepte.

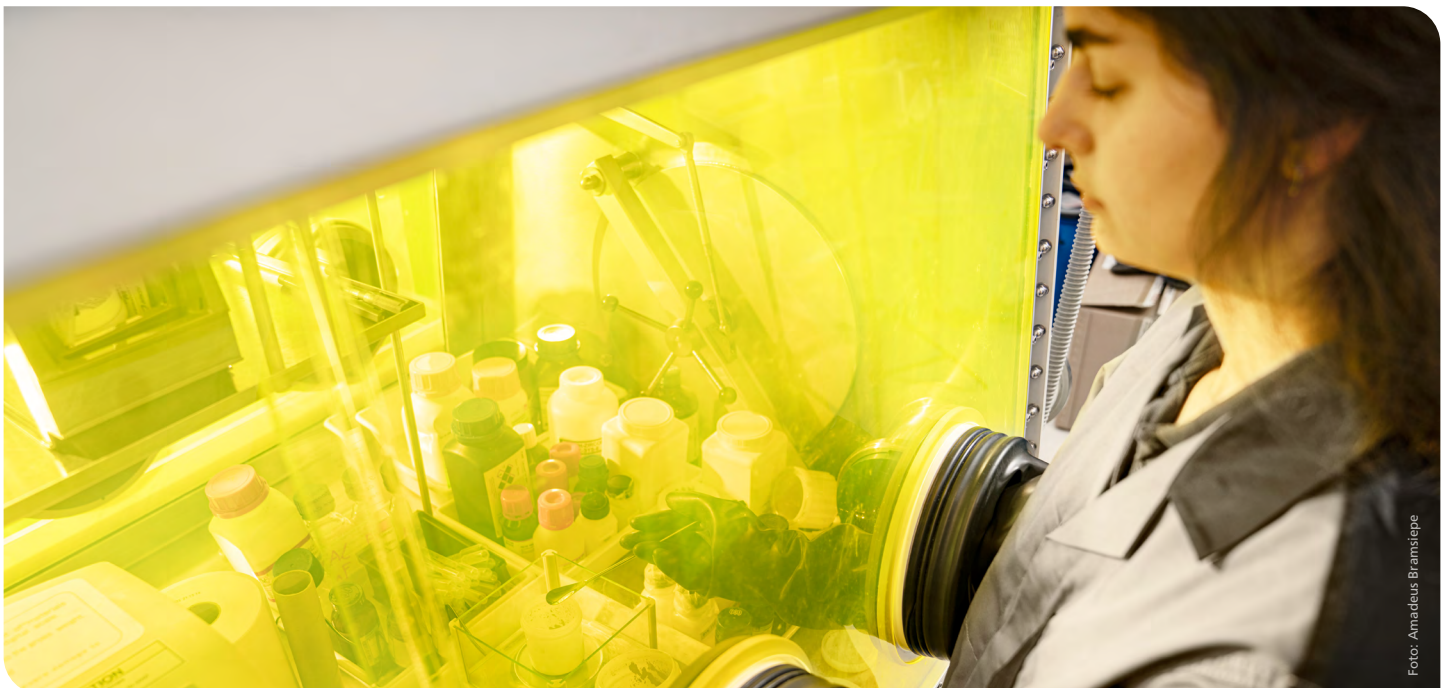
Schichtweise Aushärtung im Flüssigbad

Die badbasierte Photopolymerisation (Vat Photopolymerization – VPP) ist ein etabliertes Verfahren für den Polymerdruck: Ein flüssiges, lichtsensitives Polymerharz (Resin) wird in einem Behälter (Vat) lokal und schichtweise belichtet, sodass es selektiv aushärtet. Die gezielte

Belichtung mit einer definierten Wellenlänge führt zur lokalen Polymerisation und Aushärtung des Materials. Am wbk wird dieses Resin gezielt mit feinen Keramik- oder Metallpulvern versetzt, sodass eine homogen gemischte, flüssige bis zähflüssige Suspension entsteht. Dieser sogenannte Schlicker enthält zusätzlich ein abgestimmtes Bindersystem, das die Pulverteilchen während des schichtweisen Aufbaus zusammenhält. Durch den schichtweisen Aufbau entsteht ein Bauteil mit hoher Detailtreue und glatter Oberfläche. Nach dem Druck wird der Binder in einer thermischen Nachbehandlung wieder entfernt, wodurch sich die finalen Materialeigenschaften gezielt einstellen lassen.

Erweiterung für Multi-Materialien

Eine Weiterentwicklung am KIT betrifft das MMAM, das es ermöglicht, zwei keramische Materialien in einem Druckvorgang zu einem Bauteil zu kombinieren. Die Forschenden verarbeiten dafür viskose Schlicker, die aus Binder, keramischen Mikropartikeln und einem Photoinitiator bestehen. Der additive Workflow umfasst die Prozessvorbereitung, das Beschichten und Belichten der Keramikschichten, gegebenenfalls den Materialwechsel während des Druckprozesses, den schichtweisen Aufbau, das Reinigen, Entbindern sowie abschließendes Sintern. Das Verfahren eignet sich besonders für die



Anmischen der materialspezifischen Schlicker in einer Glovebox unter Schutzatmosphäre.

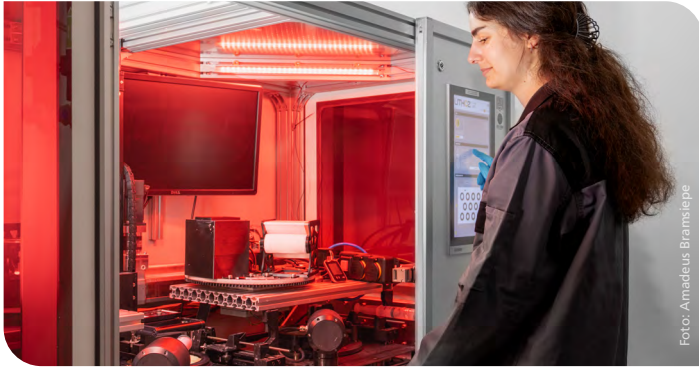


Foto: Amadeus Bramstlepe

Multi-Material-Anlage Lithoz 2M30

Herstellung kleiner, hochpräziser und mehrschichtiger keramischer Bauteile. Neben den maßgefertigten Druckmaterialien liegt die Besonderheit in der gezielten Adaption des Druckprozesses sowie den nachfolgenden thermischen Verfahrensschritten.

Materialpalette und Kombinationen

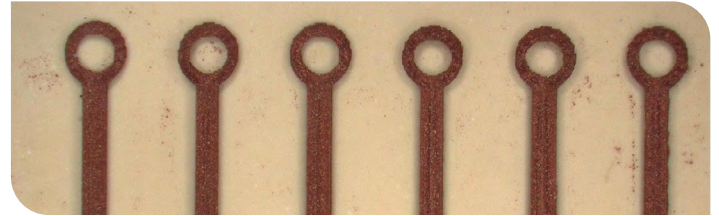
Die Plattform arbeitet bis jetzt mit Keramik-Keramik-Kombinationen aus Aluminium- und Zirkonoxid sowie deren Mischungen Alumina-toughened zirconia (ATZ) und Zirconia-toughened alumina (ZTA). Diese Materialsysteme sind besonders kompatibel, da sie sich in der thermischen Nachbehandlung vergleichbar verhalten. Zudem lassen sich poröse und dichte Strukturen gezielt kombinieren, um den Wärme- und Stofftransport zu steuern. Die Forschenden haben sich ein umfassendes Know-how in der Materialentwicklung für die additive Fertigung mit Multimaterialien aufgebaut. Ergebnis ist ein universelles Bindersystem, das verschiedene anorganische Materialien kompatibel macht und eine kontrollierte Nachbehandlung ermöglicht. Eine zentrale Aufgabe besteht darin, geeignete Prozessparameter für die jeweilige Materialzusammensetzung zu identifizieren und diese mit möglichst geringem Anpassungsaufwand auf weitere Materialsysteme zu übertragen. Erste Versuche mit Kupfer-Partikeln verdeutlichen zudem das Potenzial von Keramik-Metall-Hybridbauteilen.

Einsatzbereiche mit Potenzial

Die Kombination unterschiedlicher keramischer Eigenschaften in einem Bauteil eröffnet neue Design- und Funktionsmöglichkeiten. So lassen sich beispielsweise Bauteile mit gezielt eingestellten Härte- und Porositätszonen herstellen. Daraus ergeben sich vielfältige Anwendungen: verschleißfeste Komponenten im Maschinenbau,

patientenspezifische Knochen- und Zahnimplantate in der Medizintechnik, hitzebeständige, leichtgewichtige und hochfeste Strukturen für Luft- und Raumfahrt, hochtemperaturfeste und chemisch inerte Keramiken in der Energietechnik sowie Multi-Material-Keramiken für Elektronik und Sensorik.

Präzisionsfertigung für Prototypen und Kleinserien



Gedrucktes Multi-Material-Bauteil mit Leiterbahnstrukturen aus Keramik und Kupfer.

Mithilfe des Multi-Material-Drucks lassen sich maßgeschneiderte Hochleistungsbauteile mit gezielt kombinierten mechanischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften herstellen. Die Plattform ermöglicht Bauteilabmessungen bis zu 40 × 70 mm in der XY-Ebene und 170 mm in Z-Richtung und eignet sich damit besonders für kleine, hochpräzise Komponenten. Durch eine laterale Pixelauflösung von 40 × 40 µm entstehen Bauteile mit hoher Maßhaltigkeit und Detailtreue. Nach dem Sintern sind keine zusätzlichen mechanischen Nachbearbeitungsschritte wie Fräsen oder Drehen erforderlich. Da sowohl auf der Bauplattform als auch während der thermischen Nachbehandlung mehrere Bauteile parallel verarbeitet werden können, bietet das Verfahren zudem Potenzial für eine wirtschaftliche Skalierung im Prototypenbau sowie in Kleinserien.

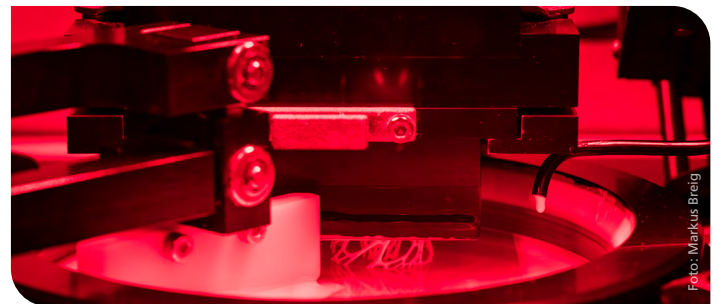


Foto: Markus Breig

In der mit Schlicker gefüllten Wanne wird ein Bauteil schichtweise ausgehärtet.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
wbk Institut für Produktionstechnik – Fertigungs- und Werkstofftechnik

Frederik Zanger
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608-42450
E-Mail: frederik.zanger@kit.edu
Web: www.wbk.kit.edu

Chantal-Liv Lehmann
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
Tel.: +49 173 2676346
E-Mail: chantal-liv.lehmann@kit.edu
Web: www.wbk.kit.edu



Karlsruher Institut für Technologie (KIT) · Präsident Professor Dr. Jan S. Hesthaven · Kaiserstraße 12 · 76131 Karlsruhe