

Selektives Lasersintern keramischer Mikrobauteile

Bei der Produktion metallischer Mikrobauteile punktet das selektive Lasersintern mit nahezu unbegrenzter Formenvielfalt und hohem Auflösungsvermögen.

Um die Vorzüge des Verfahrens auch auf **KERAMISCHE WERKSTOFFE** zu übertragen, sind die Prozessparameter allerdings vollständig neu zu bestimmen.

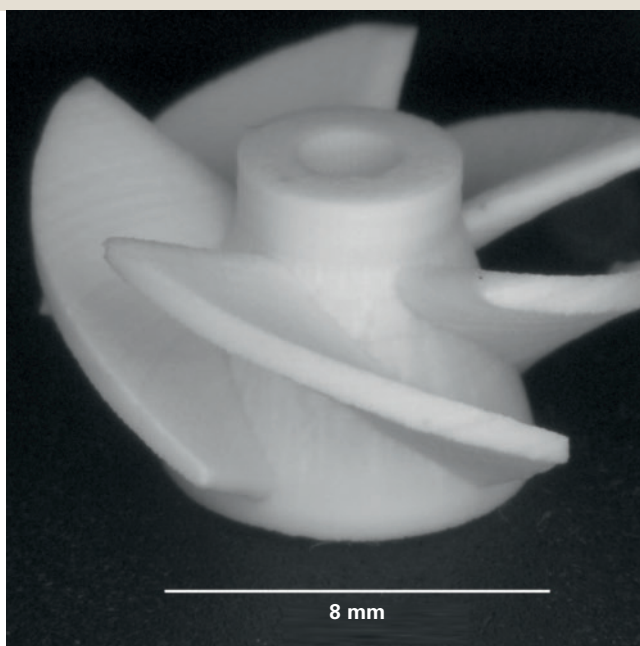
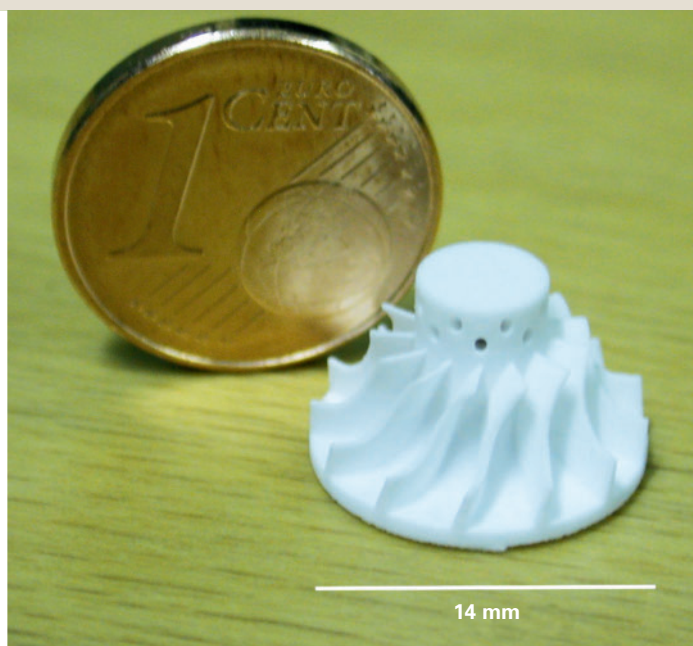


Bild 1. Interessant für industrielle Anwendungen in der Mikrofluidik oder Mikrosystemtechnik: Propeller (links) und Impeller (rechts) aus hochfester Al₂O₃-Keramik



ROBBY EBERT, ANDRÉ STREEK, PETER REGENFUSS UND HORST EXNER

Das Lasermikrosintern ist eine Spezialform des selektiven Lasersinterns und zeichnet sich durch eine Reihe von Besonderheiten aus. Zur Erzeugung der hochaufgelösten lokalen Verfestigung wird ein gütegeschalteter Laser mit kurzen Pulsen im Bereich von 10 bis 1000 ns eingesetzt. Dies führt zu einem komplexen Prozess, bei dem das Pulver aufgeschmolzen und die Schmelze durch den entstehenden Plasmadruck und den Rückstoß verdampfter Partikel in unterliegende Schichten gedrückt wird. Diese Prozesse finden verteilt über den zu sinternden Pulverbereich mit Frequenzen von 5 bis 100 kHz statt. Die daraus resultierende vernetzte Struktur ermöglicht hochaufgelöste, weitgehend spannungsfreie und relativ feste Körper (**Bild 1**). Um mit solch kurzen Pulsen arbeiten zu können, werden sehr dünne Pulverschichten benötigt. Diese werden mit einer neuartigen Ringrakel erzeugt (**Bild 2**). Die Ringrakel

verhilft mit entsprechenden pulverspezifischen Modifizierungen zu glatten und dichten Schichten. Der Bauraum kann minimal bis zu 0,5 µm abgesenkt werden. Das Verfahren wird in der Regel in einer vakuumdichten Kammer durchgeführt. Bestimmte Metalle und Keramiken lassen sich auch an der Luft verarbeiten.

Es wurden bereits eine Vielzahl von Materialien wie Wolfram, Molybdän, Silber, Kupfer, Aluminium, Stähle, Gemische und Legierungen (ohne Entmischung) sowie verschiedene Keramiken und Metall-Keramik-Gemische verarbeitet [1]. Die untere Grenze der

> KONTAKT

INSTITUT
Hochschule Mittweida/
Laserinstitut Mittelsachsen e.V.
09648 Mittweida
Tel. +49/3727/58-1401
Fax +49/3787/58-1496
www.laserinstitut.org



Bild 2. Kammer mit zwei Ringrakeln: Glatte und dichte Schichten mit einer Auflösung von 0,5 µm sind möglich

generellen Formauflösung der gesinterten Körper liegt zurzeit bei 30 µm bei einer minimalen Rauheit R_a von 1,5 µm.

Keramik benötigt moderatere thermische Bedingungen

Alle Metalle, auch refraktive wie Wolfram, lassen sich mit diesem Verfahren problemlos verarbeiten, da der Sinterprozess unter sehr hoher Laserstrahlintensität stattfindet. Dadurch und durch die relativ hohe Absorption findet die Energieaufnahme in kurzer Zeit statt. Für die flüssige Phase steht dementsprechend ein ausreichend großes Temperaturintervall zur Verfügung. Die relativ niedrige Viskosität der Schmelze führt zu einer guten Benetzbarkeit. Derart günstige Voraussetzungen liegen für das direkte Lasersintern von Keramik nicht vor. Neben Einschränkungen bei der Absorption und einer Streuung der Laserstrahlung in das Pulver tritt ab einer bestimmten Temperatur und unter bestimmten Bedingungen sogar eine Zersetzung des Materials ein. Dies erfordert eine Anpassung des Sinterregimes hin zu moderateren thermischen Bedingungen.

Prozessparameter bei SiSiC mit geringer Variationsbreite

Mit einem SiSiC-Pulver der Zusammensetzung 51 Prozent SiC, 41 Prozent Si und 8 Prozent C konnte an Normalatmosphäre mit einem vergleichbaren Prozess, wie er beim Lasermikrosintern von Metall angewandt wird, gearbeitet werden [2]. Allerdings ist die Variationsbreite der Parameter erheblich geringer als für das entsprechende Verfahren mit Metallpulvern. Bei überhöhten Intensitäten und Fluenzen treten Zersetzung beziehungsweise Oxidation des Materials auf. Mit dem Verfahren wurde eine mit dem Metallprozess vergleichbar hohe Formauflösung erreicht (**Bild 3**). Die Druckfestigkeit von weniger als 100 MPa ist jedoch für den industriellen Einsatz noch zu niedrig. Die Porosität der Körper betrug 28 bis 45

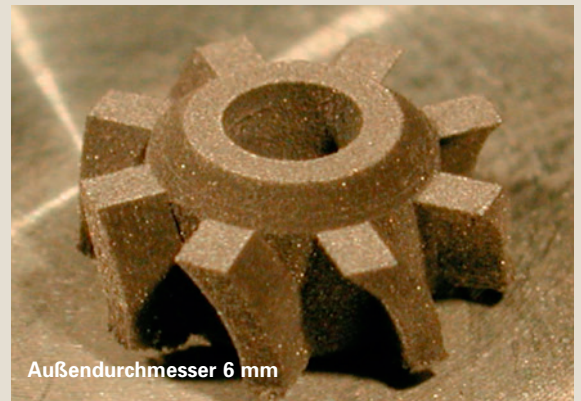


Bild 3. Turbinenrad aus SiSiC: Charakteristisch für das Verfahren ist die hohe Formauflösung

Prozent. Eine Untersuchung zur Erhöhung der Festigkeit durch Infiltrierung und/oder Nachsintern steht noch aus.

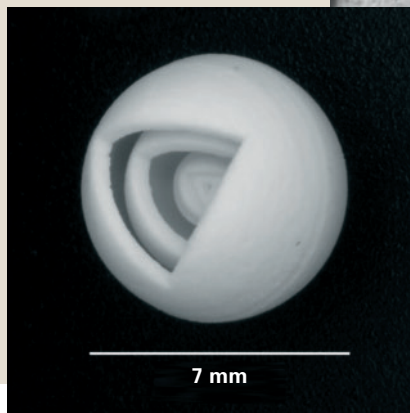
Für die Sinterversuche mit technisch reinem SiC wurde unter anderem auch ein Pulver mit der Klassifizierung C15 (15 m²/g) verwendet. Es besitzt eine mittlere Korngröße von 0,6 µm und weist zudem eine breite Korngrößenverteilung von 0,1 bis 2 µm auf. Abweichend vom bisherigen Lasermikrosintern wurde bei diesem Verfahren auch mit cw-Laserstrahlung gearbeitet. Die Strukturauflösung war ebenfalls sehr gut. Von einem Pulver aus reinem SiC ist eigentlich keine direkte Absorption von NIR-Strahlung der Wellenlänge 1064 nm zu erwarten. Alle Beobachtungen unterstützen die Hypothese, dass bei dieser Variante das Pulver indirekt erhitzt wird. Die Strahlung penetriert das Pulver und wird von dem darunterliegenden Material absorbiert: Im Falle der ersten Schicht ist dies das Substrat, im späteren Verlauf handelt es sich um das zuletzt erzeugte Sintergefüge.

SiSiC mit Druckfestigkeiten von mehr als 1000 MPa

Aufgrund der in diesem Fall offenen Porosität der gesinterten Körper können diese nachfolgend mit Harz und Silizium infiltriert werden. Dadurch werden Druckfestigkeiten von mehr als 1000 MPa erzielt, was bereits eine industrielle Anwendbarkeit impliziert. Zudem können makroskopisch strukturierte SiC-Körper über geometrisch definierte Schnittstellen mit den lasermikrogesinterten Körpern durch gemeinsames Infiltrieren und Nachsintern verbunden werden. Mit dieser Technologievariante können zukünftig Werkzeuge aus SiC mit hochaufgelösten mikrostrukturierten Teilbereichen versehen werden. Entsprechende Arbeiten, die gemeinsam mit dem Fraunhofer IKTS Dresden durchgeführt werden, stehen kurz vor dem Abschluss.

Zur Generierung von Bauteilen aus SiO₂-Keramik ermöglicht das Reaktionsmikrosintern die Verwendung von bei IR-Strahlung gut absorbierenden unterstöchiometrischen oxidischen Materialien, zum

Bild 5. Hochaufgelöste Teile aus Al_2O_3 -Keramik: Komplexe Hinterschnidungen sind einfach zu realisieren



Beispiel SiO_2 . Die Untersuchungen zeigten, dass Siliziumdioxid mittels Reaktionssintern erzeugt und auch komplex geformte Körper generiert werden können. Zudem wurde festgestellt, dass die Geschwindigkeit der Energieeinbringung mittels Laserstrahlung die Morphologie des Sintergefüges wesentlich beeinflusst. Bei geringer Intensität, jedoch gleicher Fluenz, bildet sich eine amorphe glasähnliche Phase, bei Erhöhung der Pulsspitzenleistung entsteht ein eher feinkristallines Gefüge.

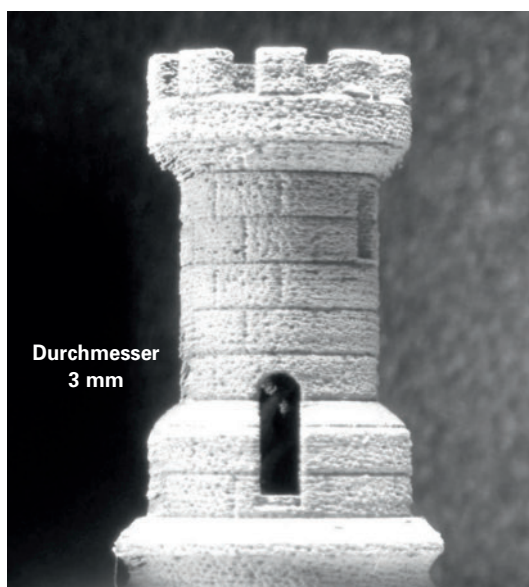
Lasermikrosintern mit Al_2O_3 -haltiger Keramik

Weitere Untersuchungen hatten zum Ziel, die Festigkeit der gesinterten Körper deutlich zu erhöhen. Dabei ist es gelungen, Druckfestigkeiten der gesinterten Strukturen durch Optimierung der Füllstrategie und einer thermischen Nachbehandlung von bis zu 490 MPa zu erzeugen. Die relative Dichte stieg auf 70 Prozent, allerdings wurde ein merklicher Schrumpf von bis zu 20 Prozent festgestellt. Während dieses Nachsinterns wechselt das Aussehen des Gefüges von glasartig durchscheinend zu opak. Mit dem Verfahren ist es möglich, hochaufgelöste Körper aus SiO_2 zu sintern (**Bild 4**). Besonders interessant für

neuartige technische Anwendungen ist die gezielte partielle Generierung von keramischen oder glasartigen Bereichen.

Nach einer längeren Entwicklungsphase, in der unter anderem der Pulveraufzug optimiert, das Bestrahlungsregime angepasst und eine geeignetere Strahlquelle ermittelt wurden, können gegenwärtig Al_2O_3 -Körper mit einer Auflösung von 50 bis 80 μm sowie mit einer unbegrenzten Hinterschneidung erzeugt werden [4 bis 6] (**Bild 5**). Die relative Dichte des Sintergefüges beträgt mehr als 95 Prozent. Nach dem Lasersintern haben die Gefüge einen glasartigen Charakter, der durch eine anschließende Temperung im Ofen verschwindet. Die bei diesem Prozess auftretende Schrumpfung liegt unter einem Prozent. Untersuchungen haben gezeigt, dass durch das Nachsintern eine Ausheilung von Mikrorissen und eine Bildung von Mullit-Kristallen stattfindet. Weiterhin entsteht eine weiße Einfärbung, die auf eine Kristallisation zurückgeführt wird (**Bild 6**). Außerdem erhöht sich die Festigkeit erheblich. Die Druckfestigkeit beträgt im Maximum 1400 MPa und die Biegebruchfestigkeit 130 MPa. Damit sind die generierten Teile bereits für dentale Anwendungen, wie zum Beispiel Inlays, gut geeignet (**Bild 7**). Zu diesem Zweck kann auch die Farbe der Keramik über gezielte Zusätze variiert werden. Neben den dentalen Anwendungen bietet sich der Einsatz der Keramik in thermisch und chemisch hoch beanspruchten Industrieteilen an. Hier sind zukünftig fluidische oder auch mikrosystemtechnische Anwendungen realistisch (**Bild 1**).

Bild 4. Mikrostrukturierter Turm aus SiO_2 : Eine partielle Generierung glasartiger oder keramischer Bereiche ist möglich



Keramik für innovative Problemlösungen

Das Lasermikrosintern ermöglicht bereits jetzt die Verwendung einer Reihe von keramischen Materialien zur spezifischen Lösung technischer Probleme. Wie bei allen SLS-Verfahren ist eine nahezu unbegrenzte Formenvielfalt, auch von Teil zu Teil, realisierbar. Entscheidend für den ökonomischen Einsatz des

Bild 6. Mikrostrukturierte Zahnräder vor (links) und nach dem Nachsintern (rechts): Das Nachsintern heilt gleichzeitig Mikrorisse aus

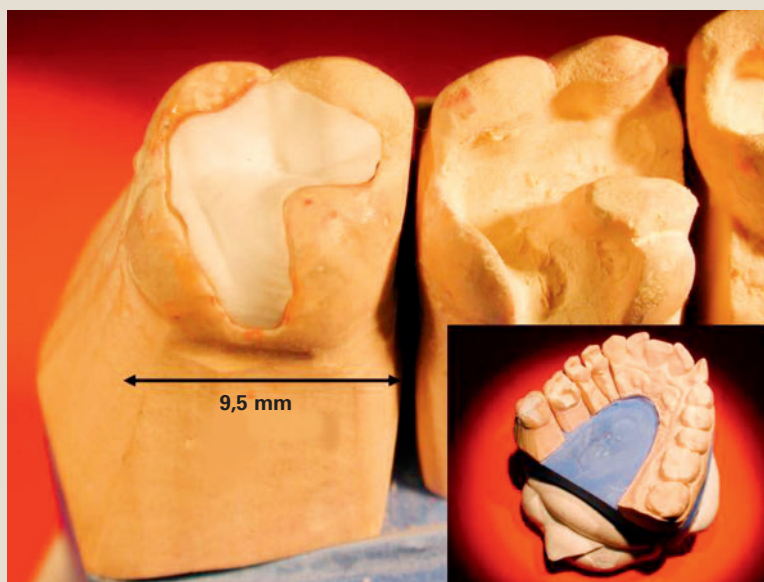
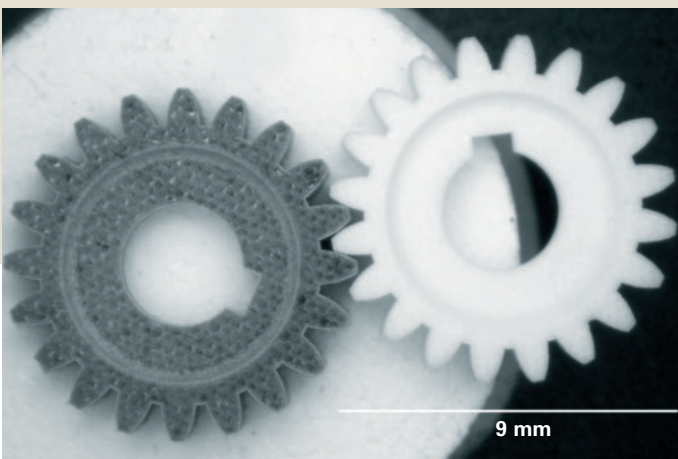


Bild 7. Passgenaues Inlay: Dank hoher Festigkeit sind auch zahnmedizinische Anwendungen interessant

Verfahrens ist ein möglichst geringes gesintertes Volumen des Bauteils bei maximaler geometrischer Komplexität. So könnten zum Beispiel bereits jetzt bis zu 50 hochaufgelöste und hinterschnittene Mikroteile mit einem gesinterten Volumen von jeweils 2 mm^3 in einer Stunde aus Al_2O_3 -Keramik gefertigt werden. Dies bietet sowohl für das Rapid Prototyping als auch für die individuelle Serienproduktion große Chancen. Zur Nutzung ist allerdings schon bei der Konstruktion der Mikroteile ein technologiegerechtes Denken notwendig. ■ MI100223

AUTOREN

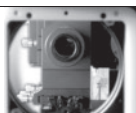
Dipl.-Physiker ROBBY EBERT ist Leiter des Projekts ›Rapid Microtooling mit laserbasierten Verfahren‹ an der Hochschule Mittweida; ebert@htwm.de
Dipl.-Ing. (FH) ANDRÉ STREEK ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt ›Rapid Microtooling mit laserbasierten Verfahren‹; astreek@htwm.de
Dr. PETER REGENFUSS ist wissenschaftlicher Leiter des Projekts ›KONAMI‹ an derselben Hochschule; peter.regenfuss@htwm.de
Prof. Dr.-Ing. HORST EXNER ist Direktor des Laserinstituts der Hochschule Mittweida; exner@htwm.de

LITERATUR

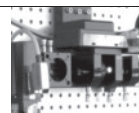
- [1] H. Exner, M. Horn, A. Streek, P. Regenfuß, F. Ullmann, R. Ebert: Laser micro sintering – a new method to generate metal and ceramic parts of high resolution with sub-micrometer powder, Proceedings of 3rd International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping, Leiria (Portugal), 2007, 491-499
- [2] A. Streek, P. Regenfuss, F. Ullmann, L. Hartwig, R. Ebert, H. Exner: Processing of Silicon Carbide by Laser Micro Sintering. In: D. L. Bourell et al. (Eds.): The Proceedings of the 17th Annual SFF Symposium 2006, 349-358
- [3] A. Streek, P. Regenfuß, T. Süß, R. Ebert, H. Exner: Laser micro sintering of SiO_2 with an NIR-Laser. Proceedings of the SPIE LMI-11 conference on Laser-assisted Micro- and Nanotechnologies 2007, Petersburg, Russia, (ISBN: 9780819471833), Vadim P. Veiko, Editors, 69850Q
- [4] H. Exner, L. Hartwig, A. Streek, M. Horn, S. Klötzer, R. Ebert, P. Regenfuß: Laser Micro Sintering of Ceramic Materials. Ceramics Forum International, Berichte der deutschen keramischen Gesellschaft, vol. 83, no. 13, 45-52
- [5] P. Regenfuß, A. Streek, F. Ullmann, L. Hartwig, R. Ebert, C. Kühn, M. Horn, H. Exner: Laser Micro Sintering of Ceramic Materials. Part 1, Inter-ceram 56 (2007) [6] 420-422, High-Performance Ceramics
- [6] P. Regenfuß, A. Streek, F. Ullmann, L. Hartwig, R. Ebert, C. Kühn, M. Horn, H. Exner: Laser Micro Sintering of Ceramic Materials. Part 2, Inter-ceram 57 (2008) [1] 6-9, High-Performance Ceramics



MICOS
MECHANISCHE INSTRUMENTE
OPTISCHE SYSTEME GMBH GERMANY



■ Turn-Key solution



■ Inhouse competence



MOTION
CONTROL

SYSTEMS

Phone: +49(0)7634-50 57-0 www.micos.ws / info@micos.ws