

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe IKTS Dresden (Koordinator)

Herr Prof. Dr. A. Michaelis
Herr Dr. R. Lenk
Winterbergstraße 28
01277 Dresden
Tel.: 0351 2553-539
Fax: 0351 2553-606
E-Mail: Reinhard.Lenk@ikts.fraunhofer.de
www.ikts.fraunhofer.de

Projektschwerpunkte: Verbundkoordination, Werkstoff- und Technologieentwicklung

Hochschule Mittweida (FH)

Herr Prof. Dr. H. Exner
Herr Dipl.-Phys. R. Ebert
Technikumplatz 17
09648 Mittweida
Tel.: 03727 5814-01
Fax: 03727 5814-96
E-Mail: ebert@htwm.de
www.laz.htwm.de

Projektschwerpunkte: Anlagen- und verfahrenstechnische Entwicklung

Projektpartner Industrie:

3D-Micromac AG

Herr Dipl.-Ing. T. Petsch
Max-Planck-Straße 22b
09114 Chemnitz
Tel.: 0371 40043-0
Fax: 0371 40043-40
E-Mail: petsch@3d-micromac.com
www.3d-micromac.com

Projektschwerpunkte: Maschinen- und Anlagenentwicklung

IVS Solutions AG

Herr Dipl.-Inform. Jörg Fischer
Annaberger Straße 240
09125 Chemnitz
Tel.: 0371 5347-380
Fax: 0371 5347-428
E-Mail: ivs@ivs-solutions.com
www.ivs-solutions.com

Projektschwerpunkte: Softwaresysteme für die Maschinen- und Anlagensteuerung, Process-Controlling, Datenaufbereitung und -verarbeitung

Pentacon GmbH Foto- und Feinwerktechnik

Herr F. Carsch
Enderstraße 94
01277 Dresden
Tel.: 0351 2589-331
Fax: 0351 2589-303
E-Mail: carsch@pentacon-dresden.de
www.pentacon-dresden.de

Projektschwerpunkte: Konstruktion und Werkzeuganwendungen

Ceram GmbH Ingenieurkeramik

Herr Dipl.-Ing. R. Böhling
Kehlweg 7
79774 Albbbruck-Birndorf
Tel.: 07753 / 9399-0
Fax: 07753 / 9399-29
E-Mail: ceram@t-online.de
www.ceram-gmbh.de

Projektschwerpunkte: Pulverentwicklung und -modifizierung

HKM Kunststoffverarbeitung GmbH

Herr Dipl.-Ing. K. Hempel
Eibauer Straße 9
02727 Neugersdorf
Tel.: 03586 3904-0
Fax: 03586 3904-30
E-Mail: hkm-info@t-online.de
www.hkm-kunststoff.de

Projektschwerpunkte: Werkzeuge und Kleinserien Kunststoffteile

Maschinenfabrik Arnold GmbH & Co. KG

Herr Dipl.-Ing. R. Gnann
Gottlieb-Daimler-Straße 29
88214 Ravensburg
Tel.: 0751 36169-0
Fax: 0751 36169-40
E-Mail: info@arnold-rv.de
www.arnold-rv.de

Projektschwerpunkte: Anlagentechnische Komponenten

Selektives Lasersintern als innovatives Herstellungsverfahren für komplexe Bauteile aus technischer Keramik (CERAPID)

Das Projekt

Keramische Werkstoffe zeichnen sich durch ihr geringes spezifisches Gewicht, ihre hohe Härte, ihre chemische Resistenz gegen aggressive Säuren, Basen und Metallschmelzen und hohe Festigkeiten im Hochtemperaturbereich aus. Die breite Werkstoffpalette (Oxide, Nitride, Carbide, Composite) eröffnet ein weiteres Potenzial spezifischer Eigenschaften wie z.B. hohe oder niedrige Wärmeleitfähigkeit, Isolationseigenschaften und elektrische Leitfähigkeit, tribologische Eigenschaften usw. Diese Eigenschaften werden in einer Vielzahl von Anwendungen im Maschinen- und Apparatebau, in der Energietechnik, im Turbinen- und Motorenbau, in der Textilindustrie, in der chemischen Verfahrenstechnik u.a. genutzt.

Während das selektive Lasersintern (SLS) von Metallpulvern bereits seit mehreren Jahren in der industriellen Fertigung zum direkten Herstellen von metallischen Spritzgießformen, Modellen und Prototypen angewendet wird, ist für Keramikwerkstoffe bislang keine kommerzielle Umsetzung von Rapid Prototyping Verfahren realisiert. Im Vergleich zu konventionellen pulvertechnologischen Fertigungsverfahren werden bei bisherigen Entwicklungen zum Lasersintern aufgrund von Gefügeinhomogenitäten und geringeren Werkstoffdichten nur unzureichende mechanische Eigenschaften erreicht.

Das Verbundvorhaben „CERAPID“ hat zum Ziel, keramische nichtoxidische Werkstoffsysteme für die Herstellung komplex geformter lasergesinterter filigraner Prototypen zu entwickeln, indem die Sinteraktivität der für das Lasersintern verwendeten keramischen Ausgangsmaterialien gesteigert wird. Durch geeignete Granulierverfahren werden ungeachtet der auftretenden starken Teilchenwechselwirkungskräfte ausreichend hohe Packungsdichten für den schichtweisen Pulverauftrag erreicht, so dass eine weitere

Verdichtung des keramischen Werkstoffes mit nachfolgenden Reaktionsinfiltrationschritten möglich ist und sehr gute mechanische Eigenschaften erzielt werden können. Unter Berücksichtigung der hohen Wechselwirkung der ultrafeinen nichtoxidischen Ausgangspulver werden die Lasersinterprozesse deshalb im Wesentlichen im Vakuum durchgeführt.

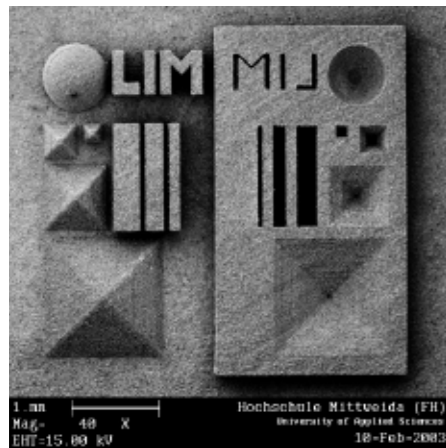
Eine wesentliche Innovation des Vorhabens besteht in der Anwendung einer Hybridstrategie zur Reaktionsinfiltration bei der Werkstoffausbildung. Es ist bekannt, dass beim Lasersintern der Zeitaufwand mit sinkender Auftragsdicke der Pulverschicht dramatisch ansteigt. Geringe Schichtdicken und die Verwendung feiner Pulver sind jedoch Voraussetzung für gute Oberflächenqualitäten, filigrane Detailabbildungen und – im Fall von Keramik – auch für hohe mechanische Festigkeiten. Um dennoch größere Bauteile wirtschaftlich fertigen zu können, wird deshalb ein Verfahren entwickelt, in dem man für die Herstellung der großvolumigen – aber (z.B. bei Werkzeugeinsätzen mit inneren Kühlkanälen) dennoch komplex geformten – Geometrien auf größere Bauräume, gröbere Ausgangspulver und mittlere Pulverfeinheiten zurückgreift (konventionelles Lasersintern), während filigran geformte Details in kleineren Bauräumen mit ultrafeinen Pulvern und geringen Schichtdicken aufgebaut werden (Lasermikrosintern). Die anschließende Reaktionsinfiltration ermöglicht die Herstellung des Werkstoffverbundes ohne Beeinträchtigungen der mechanischen Eigenschaften und ohne nachträgliche Veränderung der Geometrie.

Die Kooperation

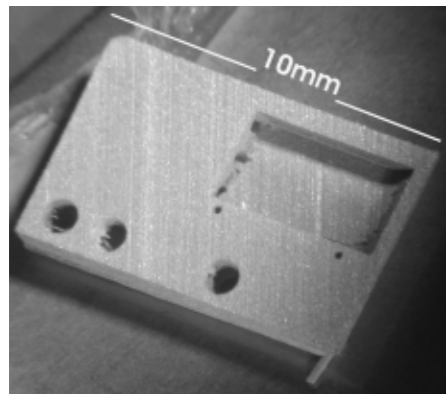
Von der Hochschule Mittweida (HM) wurde im Rahmen des BMBF-Projektes Vakuum SLS das neuartige Verfahren „Lasermikrosintern“ entwickelt (Handelsname der 3D-Micromac AG Chemnitz: microSINTERING). Dieses Verfahren erlaubt erstmals die flexible Erzeugung von Mikrostrukturen aus Metallpulver. Realisierbar wurde das durch die Verlagerung des Selektiven Lasersinterprozesses in ein Vakuum und die daraus resultierende Möglichkeit zum Handling und Rakeln von Nanopulver und dem Einsatz von gütegeschalteten Pulsen für den Sinterprozess. Die mit dem Verfahren erzielten Auflösungen liegen derzeit bei unter 30 µm, was den weltweiten Spitzenwert für SLS-Ver-

fahren darstellt. Das Laserregime ist dahingehend optimiert, dass aus der Summe der Effekte des gütegeschalteten Laserpulses ein generativer Prozess mit hoher Ortsauflösung resultiert. Die besten Ergebnisse wurden unter Verwendung von gütegeschalteter Nd:YAG - Laserstrahlung und von Wolfram - Nanopulver erzielt (siehe Abbildungen). Es wurden aber auch bereits Mikrostrukturen aus Aluminium, Kupfer, Silber, Wolfram/Kupfer und Wolfram/Aluminium erzeugt.

Die herausragenden Forschungsergebnisse wurden im Mai 2003 auf der Rapid Prototyping Tagung der RPA/SME (Rapid Prototyping Association) in Chicago/USA vorgestellt. Dabei konnte der „Dick Aubin Paper Award“ für den besten eingereichten Fachartikel in Empfang genommen werden.



Teststruktur aus Wolfram

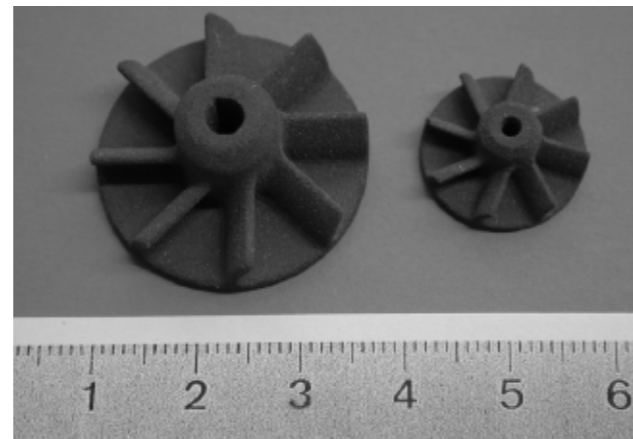


Lasermikrogesintertes Bauteil aus Wolfram

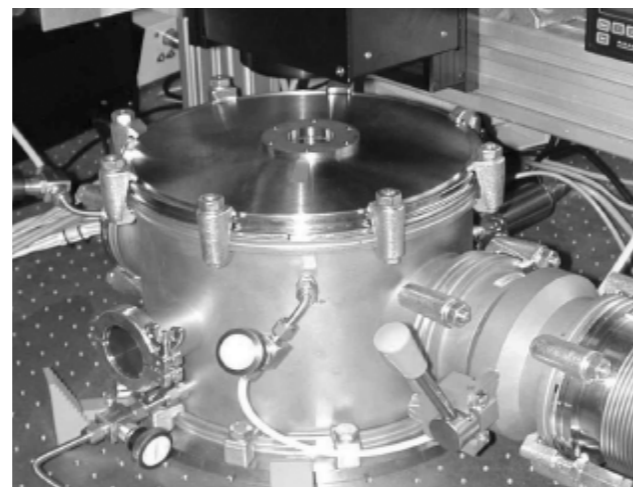
Das Fraunhofer IKTS kann auf umfangreiche Erfahrungen bei der Entwicklung von keramischen Bauteilen sowie Prototypen auf der Basis von oxidischen und nichtoxidischen strukturkeramischen Werkstoffen verweisen. Dies schließt sowohl die Entwicklung und Charakterisierung geeigneter Werkstoffe als auch die Herstellung von Bauteilen mit unterschiedlichen Geometrien über Formgebung von keramischen Pulvern ein. Für die Funktionsmusterherstellung

wurden bereits Rapid Prototyping Technologien genutzt. In einer Fraunhofer-internen Kooperation mit dem IWS Dresden wurden ausgehend von handelsüblichem reinem SiC-Pulver (ohne thermoplastischen Binder) durch direktes Lasersintern in oxidierender Atmosphäre Grünkörper aufgebaut und anschließend mit Silizium reaktionsinfiltriert und vollständig verdichtet.

Weitere Eigenschaftsverbesserungen wurden durch die Erhöhung der Packungsdichte des primären SiC, durch Kohlenstoffzusätze und die Bildung von sekundärem SiC sowie daraus resultierende Gefüge- und Eigenschaftsvariationen möglich. Durch die Verwendung feinerer Ausgangspulver (13 µm mittlere Teilchengröße) wurden wesentliche Verbesserungen der mechanischen Eigenschaften erreicht und deutlich filigranere Bauteilgeometrien möglich (siehe Abbildung). An Proben, die durch Lasersintern eines SiC-Pulvers mit einer mittleren Teilchengröße von 13 µm und anschließender C-Dotierung hergestellt wurden, konnten Werkstoffdichten von 2,85 g/cm³, 4-Punkt-Biegebuchfestigkeiten von 267 MPa und ein E-Modul von 259 GPa bestimmt werden.



Miniaturisierte Turbinenräder aus SiC



Lasermikrosinteranlage »microSINTERING«

Am Projekt beteiligen sich Maschinen- und Anlagenbauer, Softwareentwickler, Pulverhersteller und Anwender aus dem Maschinen- und Werkzeugbau. Sechs der acht Partner kommen aus Sachsen; zwei Firmen haben ihren Sitz in Baden-Württemberg.

Die Perspektiven

Ausgehend von den in dem Projekt zu gewinnenden Erfahrungen sollen ohne nachträgliche Bearbeitung an belastungskritischen Bauteilbereichen bessere mechanische Eigenschaften, sowie höhere Komplexitäten und Oberflächenqualitäten erreicht werden. Somit könnten sich aufgrund seiner Härte und Verschleißfestigkeit zusätzliche Anwendungsgebiete für Nichtoxidkeramiken in den Bereichen der Präzisionsumformung und des Rapid Tooling sowie als Einzelkomponente im Maschinen- und Anlagenbau eröffnen. Die mit Lasermikrosintern erzeugten 3D-Keramikbauteile können als Mikroinserte mit Hinterschneidung in der Mikrohandlungstechnik (Greifzangen mit integrierten Kanälen für Licht/Gas) sowie wegen der sehr guten Temperaturbeständigkeit in der chemischen und in der Biotechnologie (Mikroreaktoren) oder in der Mikrosystemtechnik (Mikrowärmetauscher) eingesetzt werden. Neue Möglichkeiten eröffnen sich beim Einsatz poröser Keramikbauteile als Filtrationsmaterialien z.B. bei der Abgasreinigung. So können z.B. lasergesinterte SiC-Formkörper für die Filtration durch Variieren der Prozessfaktoren (Leistung, Scangeschwindigkeit, Schichtdicke) und der werkstoffspezifischen Faktoren (Partikelgröße, -form, und -größenverteilung sowie thermische und optische Materialeigenschaften) mit einer beliebig eingestellten Porosität erzeugt werden. Um die Bi- und Trimodalität der Teilchengrößenverteilung mit gemischten SiC-Partikelgrößen zu erzeugen, kann die Packungsdichte im Grünkörper nach Bedarf eingestellt werden. Mit dem Lasersinter-Verfahren könnten prototypische SiC-Filter hergestellt werden, die die Erprobung unterschiedlicher Filterkanalgeometrien erleichtern.

Für die keramischen Werkstoffe eröffnen sich neue Einsatzspektren in Bereichen, wo die thermische und chemische Beständigkeit des Werkstoffes eine außerordentliche Rolle spielt, wo aber bisher durch die Keramikfertigungstechnologien aufgrund der fertigungsbedingten geometrischen Einschränkungen und der Komplexität der Bauteile diese nicht eingesetzt werden können. Die Verwendung von Nanopulvern eröffnet nicht nur völlig neue zusätzliche Möglichkeiten mit neuen Eigenschaftsbereichen von porösen und dichten keramischen Systemen, sondern erfordert neue spezifische Herstellungsketten und neue Pulvertechnologien. Potentielle Anwendungsfelder eröffnen sich

auch für die Generierung neuer Materialien durch die Kombination von Lasermikrosintern und Laser-CVD.

Alle beteiligten Industriepartner planen eine wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse ab 2008. Der Rohstoffhersteller strebt mit speziell auf die Lasersinter-technologie zugeschnittenen Pulvern eine zusätzliche Produktionskapazität von 10 t pro Jahr an. Der Anlagenhersteller wird die verfahrens- und anlagentechnischen Entwicklungsergebnisse durch den Bau und Verkauf von bis zu drei Lasersinteranlagen pro Jahr wirtschaftlich verwerten. In direkter Kopplung mit der zu entwickelnden Anlagentechnik werden die Ergebnisse der Industriepartner, die auf den Gebieten der Softwareentwicklung und CAD-Konstruktion tätig sind, vermarktet. Für die im Projekt erarbeiteten beispielhaften Anwendungen in Form lasergesinteter Keramikbauteile und Keramikwerkzeuge für das Spritzgießen von Kunststoffteilen werden für den Zeitraum nach der geplanten Markteinführung Umsatzsteigerungen von insgesamt 4 Mio. Euro pro Jahr prognostiziert.

Die geplanten Ergebnisse sollen in Form von wissenschaftlichen Beiträgen veröffentlicht werden und in Datenbanken sowie Netzwerken zugänglich sein. Für das Fraunhofer IKTS als Mitglied in der Allianz Rapid Prototyping ergibt sich darüber hinaus die Möglichkeit, schon während der Entwicklungsphase Prototypen auf Fachmessen zu präsentieren. Somit können sich interessierte Einrichtungen, Firmen und Netzwerke sowie Forschungsstellen bereits frühzeitig über diese neue Technologie informieren.

Das Projekt im Überblick

Selektives Lasersintern als innovatives Herstellungsverfahren für komplexe Bauteile aus technischer Keramik (CERAPID)
Technologiefeld / Branche: Werkstofftechnik / Lasertechnologie – Herstellung von nichtoxidkeramischen Prototypen mit komplexer Mikrostruktur für verschiedene Anwendungen

Laufzeit: Januar 2005 bis Dezember 2007

Projektkosten: 576.375 EURO

Fördersumme: 317.000 EURO

Projektpartner **Forschung:**