

# **microSINTERING - ein Verfahren zur Herstellung metallischer und keramischer Mikrobauteile**

P. Regenfuß\*\*, T. Petsch\*, L. Hartwig\*\*, S. Klötzer\*\*, Th. Brabant\*, R. Ebert\*\*, H. Exner\*\*

\*) 3D - Micromac AG, Max-Planck-Str.22b, D-09114 Chemnitz, Email: info@3d-micromac.com

\*\*\*) Laserinstitut Mittelsachsen e.V. an der Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida, Email: info@laserinstitut-mittelsachsen.de

Stichwörter: Freiform, Mikrosintern, Mikrostruktur, Mikroteil, Nanopulver, Rapid Tooling, Selektives Lasersintern, SLS.

## **Kurzfassung:**

Durch innovative Weiterentwicklungen der Prozessführung und unter erstmaliger Ausnutzung spezieller Lasereffekte konnte die Formaflösung des selektiven Lasersinterns (SLS) von bis dahin  $> 150\mu\text{m}$  auf  $< 30\mu\text{m}$  verbessert werden. Aus sub- $\mu\text{m}$ -körnigen Metallpulvern wurden mit dieser Methode Präzisionsteile mit Aspektverhältnissen  $>12$  und Oberflächenrauheiten  $R_a$  bis  $1,5\ \mu\text{m}$  hergestellt. Eine angepasste Rakelmethode erlaubt den Auftrag dünnster glatter Pulverschichten. Das Material wird mit Laserstrahlung bearbeitet. Der Prozess findet unter Vakuum oder reduziertem Schutzgasdruck statt. Mit diesem Verfahren können sowohl Pulver refraktärer Metalle als auch niedriger schmelzender wie Kupfer und Aluminium gesintert werden. Das Materialspektrum wird gegenwärtig um keramische Werkstoffe erweitert.

Die Präzisionsteile können entweder fest mit dem Substrat verbunden oder über eine Sollbruchstelle abgetrennt werden. Hinterschneidungen sind mit Stützkörpern bis zu einem Winkel von  $90^\circ$  realisierbar. Ohne Stützkörper wird ein parameterbedingter maximaler Hinterschneidungswinkel  $< 90^\circ$  erreicht.

Das Verfahren wird mit den dazugehörigen Anlagen unter dem Namen microSINTERING von der 3D-Micromac AG (Chemnitz) auf den Markt gebracht.

## **1. Einleitung:**

Selektives Lasersintern (SLS) wird häufig als Rapid-Prototyping- und Rapid-Tooling-Verfahren angewandt und wurde in der Vergangenheit vorzugsweise zur Herstellung von makroskopischen Strukturen eingesetzt. Hierbei wird in jede von sukzessiv aufgetragenen Pulverschichten vor dem Auftrag der nächsten mit einem geführten Laserstrahl der Querschnitt des zu generierenden Körper gesintert. Handelsübliche Anlagen sind auf Auflösungen oberhalb  $150\mu\text{m}$  limitiert. Die Bemühungen zur Verbesserung der Strukturauflösung halten daher immer noch an und zielen auf den Bereich von  $20\ \mu\text{m}$  und darunter. Dieser Bereich liegt unterhalb der Auflösung von klassischen spanabhebenden oder fräsenden Verfahren.

Verglichen mit höher auflösenden Techniken verfügt das SLS-Verfahren immer noch über den Vorteile relativ niedriger Produktionskosten und kurzer

Gesamtproduktionszeiten für Individualanfertigungen oder kleine Stückzahlen.

Gesinterte Mikrostrukturen mit prismatischer oder pyramidalen Geometrie können z.B. als Erosionselektroden als Werkzeuge zum direkten Formen von plastischen Materialien oder als Formen für den Spritzguss Anwendung finden.

Darüber hinaus ist SLS ein Freiformwerkzeug – d.h. die Geometrien der Bauteile sind werkzeugunabhängig, Hinterschneidungen und Hohlräume können realisiert werden, wodurch der Bau von Miniaturwerkzeugen mit innenliegenden Leitungen für Fluide (Gase oder Flüssigkeiten) möglich wird.

Das SLS von Mikroteilen ist außerdem als Serienproduktionstechnologie geeignet, da z.B. in einem Bauraum mit einem Volumen von  $1 \text{ cm}^3$  ca. 5000 Teile mit Abmessungen von  $500 \times 500 \times 500 \mu\text{m}^3$  generiert werden können. Bei einer Gesamtbauzeit von 20 Stunden wären das nur 15s pro Bauteil!

Das notwendige feinkörnige Pulver besitzt zumeist hohe Reaktivität und relativ geringe Schüttdichte; bei der Erzeugung von Pulverschichten muss daher diesen Umständen Rechnung getragen werden.

Am Laser Institut Mittelsachsen e.V. wurde eine neuartige Modifikation des selektiven Lasersinterns entwickelt /1-6/, womit gegenwärtig Mikropräzisionsteile mit einer strukturellen Auflösung von weniger als  $30 \mu\text{m}$  und einer minimalen Rauheit  $R_a$  von  $1,5 \mu\text{m}$  gebaut werden können. Das Verfahren wird mit den dazugehörigen Anlagen unter dem Namen microSINTERING von der 3D-Micromac AG (Chemnitz) auf den Markt gebracht.

## **2. microSINTERING-Anlage und -Verfahren**

### **2.1 Prinzip der Anlage**

Die Anlage besteht unter anderem aus der hochvakuumdichten Sinterkammer mit einer Turbomolekularpumpe zum Evakuieren der Kammer. Durch ein Einkoppelfenster, das für die verwendete Laserwellenlänge transparent ist, wird mit einem Scanner der Laserstrahl über die Pulverschichten in der Kammer geführt. Die Kammer enthält Ventile - für unterschiedliche Schutz- oder Prozessgase -, Anschlüsse für Druckmessgeräte und Durchführungen für die Stromversorgung der Positionier- und Sinterplattform sowie für die Kabel der Steuerung.

Die Positionier- und Sinterplattform ist mit drei Antrieben für jeweils die Probenachse, die Pulverachse und die Rakel ausgestattet.

Der Anschluss für eine weitere korrosionsbeständige Pumpe und die entsprechende Ausrüstung, um Reaktionsgase bei kontrollierten Drücken durch die Sinterkammer zu spülen erlaubt die Option eines zusätzlichen CVD ("chemical vapor deposition")-Prozesses.

### **2.2 Materialien**

microSINTERING wurde bereits erfolgreich mit einer Vielzahl von Metallen, Legierungen und Metallmischungen („Blends“) durchgeführt. Eine Beschränkung des Verfahrens auf bestimmte Materialien wurde nicht festgestellt.

Zur Zeit werden Mikrosinterversuche an oxidischem und nichtoxidischem Keramikmaterial durchgeführt, um auch diese Materialien für das microSINTERING-Verfahren zu erschließen.

### **2.3 microSINTERING-Verfahren**

#### *Einstellen der Prozessatmosphäre:*

Zur Erzeugung der Prozessatmosphäre wird die Kammer evakuiert und je nach Zustand des Pulvermaterials zur Desorption von Adsorbaten – zumeist Wasser – eine angemessene Zeit bei diesem Druck gehalten. Die Haltezeit reduziert sich bei ständigem Betrieb. Anschließend wird die Kammer mit einem Prozessgas beaufschlagt.

### *Pulverschichtauftrag:*

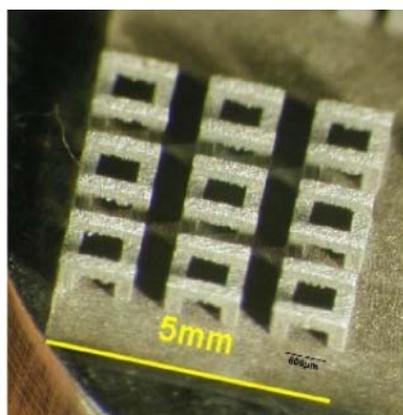
Feinkörnige Pulver bilden gewöhnlicherweise beim Rakeln Agglomerate und übergeordnete Zusammenballungen. Der Rakelklinge wurde daher eine ringförmige Form gegeben, wodurch unter Einhaltung einer speziellen Rakelfahrt eine ausreichende Qualität der Pulverschicht bei geringem Materialverlust erzielt wird. Eine Vielfalt neuer Möglichkeiten der Materialzusammensetzung als auch der Erzeugung hochwertiger Pulverschichten eröffnet die neueste Ausführung der Prozessanlage (Abb. 1), in der unter anderem zwei Ringrakel aus separaten Pulverzylindern befüllt und in beliebiger Reihenfolge über die Probe geführt werden können. die Konstruktion der Maschine erlaubt die Nachrüstung mit zusätzlichen Rakeln.



**Abb. 1: Zwei separat geführte kombinierte Ringrakel**

### *Der Prozess*

In den sukzessiv aufgetragenen Pulverschichten werden jeweils durch SLS die Querschnitte der Präzisionsbauteile generiert. Die Strategie der Strahlführung wird von der Geometrie der Querschnitte mitbestimmt und ist so angelegt, dass Verspannungen innerhalb der Sinterschicht vermieden werden. Das Verfahren lässt allerdings noch Spielraum offen für die Variation des Sintergefüges innerhalb eines Bauteils, so können unterschiedliche Sinterdichten und Rauheiten erzeugt werden und innerhalb des gesinterten Körpers Materialeigenschaftsgradienten und damit Gerüststrukturen von festem Sintermaterial in weniger festem Material generiert werden. Eine weitere wichtige Anwendung solcher Gradienten ist die Erzeugung von Sollbruchstellen zwischen Substrat und Bauteil oder innerhalb eines Bauteils von dem ein Teil z.B. die Funktion eines Aufbausockels besitzt, wodurch in gestützter Bauweise Hinterschneidungswinkel bis  $90^\circ$  realisiert werden können (Abb. 2). In freier Bauweise wird ein parameterabhängiger maximaler Hinterschneidungswinkel erreicht.



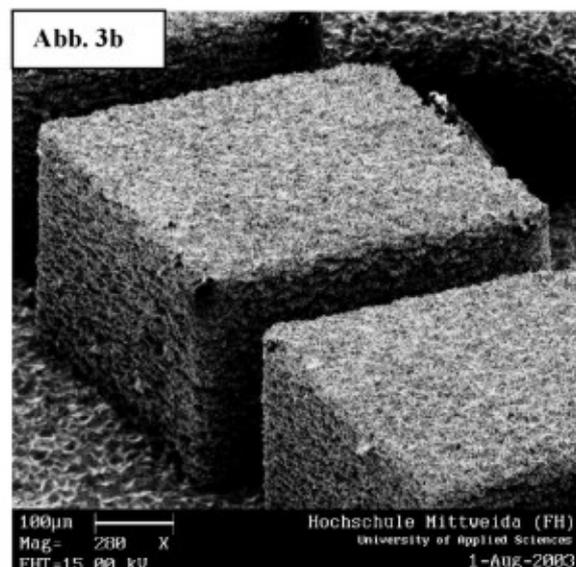
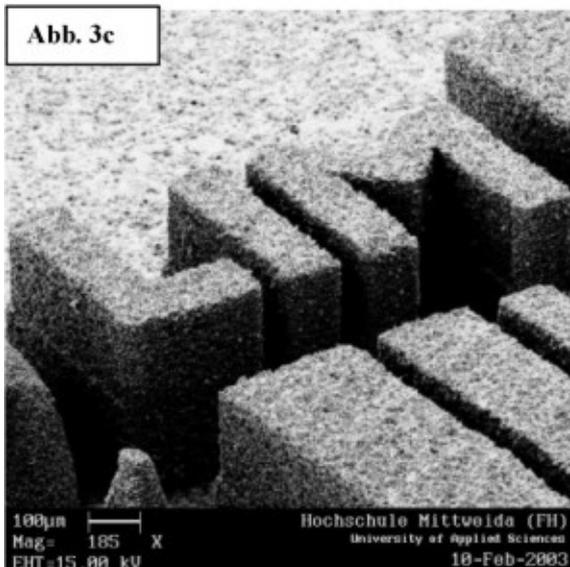
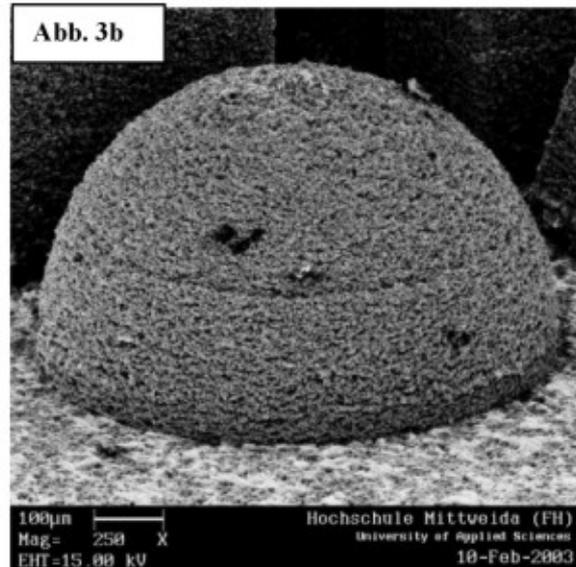
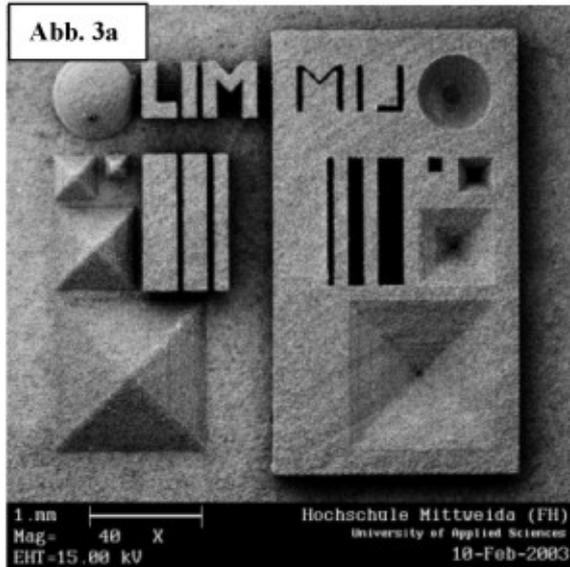
**Abb.2: Unbegrenzter Hinterschneidungswinkel in gestützter Bauweise**

### 3. Resultate - Mikrosinterprodukte

Auflösung, Aspektverhältnisse, Oberflächenrauheiten

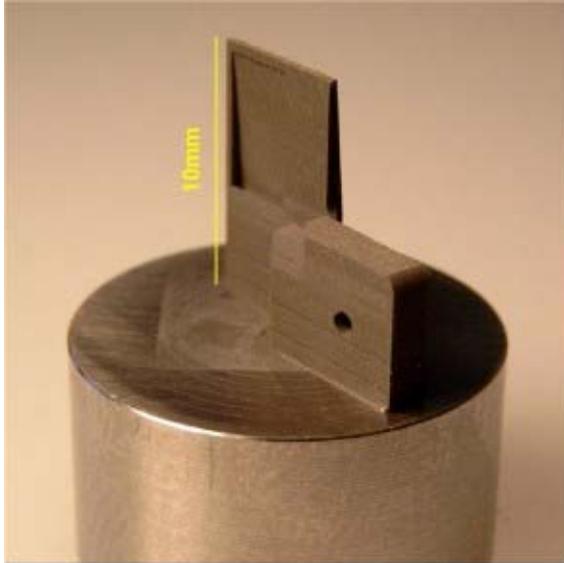
Die Abbildungen 3a-d zeigen Teststrukturen aus Wolfram. Hierbei sind Aspektverhältnisse von  $>10$  realisiert, die mit konventionellen Methoden nicht mehr erreichbar sind.

Die Rauheiten der Oberflächen liegen in der Größenordnung von von  $5\ \mu\text{m}$ . Die glattesten Oberflächen von gesinterten Wolframteilen weisen zur Zeit  $R_a$ -Werte von  $1,5\ \mu\text{m}$  auf.

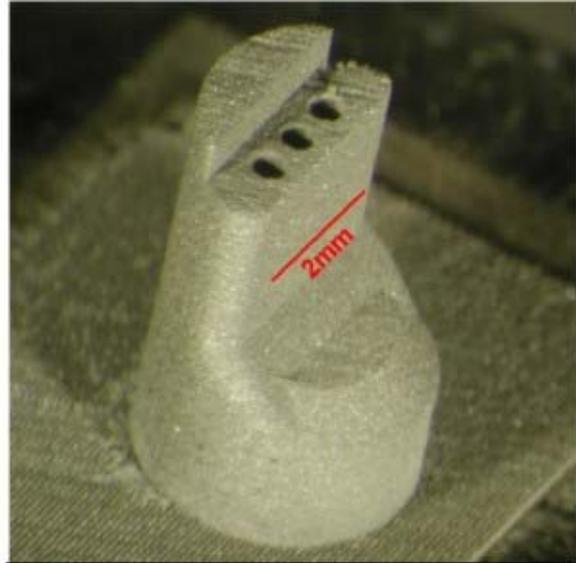


### Funktionsbauteile

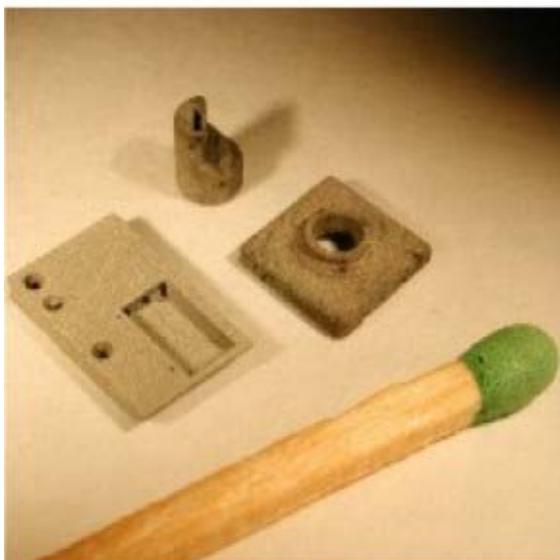
Abb. 4 zeigt Bauteile, die funktionell einsetzbar sind (a-c) und ein Demonstrationsobjekt mit Überhängen und Hohlräumen (d). Die Produkte a und d wurden aus Einkomponentenmaterial, die Teile b und c aus Metallmischungen hergestellt.



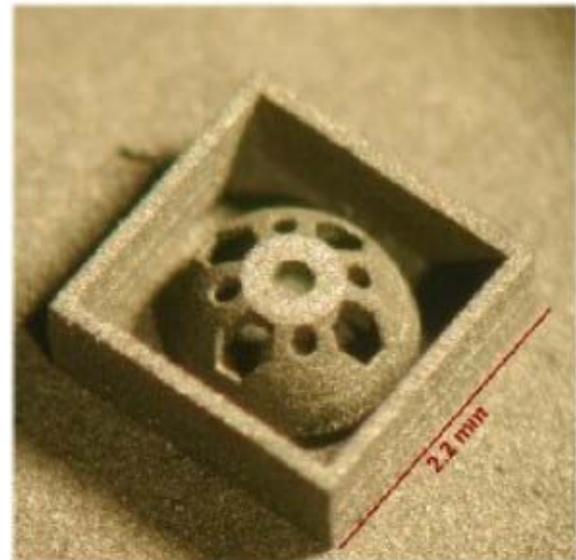
**Abb. 4a:** Funktionsteil aus Wolfram vor der Abtrennung vom Substrat.



**Abb. 4b:** Funktionsteil mit Hohlraum (nicht sichtbar) und drei innenliegenden Kanälen



**Abb. 4c:** Funktionsbauteile mit versteckten Kanälen und Wandstärken von 20µm



**Abb. 4d:** Durchbrochene Halbkugelschale

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

microSINTERING von Präzisionsbauteilen ist mit einer Vielzahl von Metallen, Legierungen und Metallmischungen möglich. Die Strukturauflösung erreicht bei Schlitzen  $10\mu\text{m}$ , bei Stegen  $20\mu\text{m}$  und in der Kontur  $< 30\mu\text{m}$ . Die Aspektverhältnisse übersteigen den Wert 10 und es sind Rauheitswerte  $R_a$  von  $1,5\mu\text{m}$  realisierbar. Produktionstaugliche Teile wurden erzeugt, die Implementierung in die industrielle Präzisionsfertigung wird zur Zeit eingeleitet.

Es kann von einer ständig wachsenden Zahl von Einsatzmöglichkeiten ausgegangen werden, wobei das Spektrum der zukünftigen Anwendungen in seiner Breite noch nicht abzusehen ist. Die Erschließung neuer Materialien richtet sich mittelfristig auf die Gruppe der Keramikwerkstoffe und Keramik-Metall-Komposite.

Mit den Möglichkeiten des letzten Entwicklungsstands der Anlage und unter Ausnutzung der besonderen Effekte des Laserregimes können spezielle Eigenschaften des Bauteilgefüges durch Material- und Strukturgradienten erzeugt werden.

Anlage und Verfahren des microSINTERING bieten hohe Flexibilität der Produktion bezüglich kurzfristiger Variationswünsche an die Bauteilgeometrie.

#### *Danksagung:*

Die Entwicklung des Lasermikrosinterns - der Technologie auf dem das neue Verfahren microSINTERING basiert - wurde dankenswerterweise durch das Deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung ermöglicht und gefördert im Rahmen des Verbundprojekts #02P1110 Vakuum - SLS.

#### Literatur

- /1/ P. Regenfuss, L. Hartwig, S. Klötzer, R. Ebert, H. Exner: Microparts by a Novel Modification of Selective Laser Sintering. Rapid Prototyping and Manufacturing Conference, May 12– 15, 2003, Chicago (IL), published on CD.
- /2/ R. Ebert, P. Regenfuss, L. Hartwig, S. Klötzer, H. Exner: Process Assembly for  $\mu\text{m}$ -Scale SLS, Reaction Sintering, and CVD. LPM 2003, 4th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, June 21-24, 2003, Munich, Proceedings of SPI, Vol. 5063, S. 183-188.
- /3/ H. Exner, P. Regenfuss, L. Hartwig, S. Klötzer, R. Ebert: Selective Laser Micro Sintering with a Novel Process. LPM 2003, 4th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, June 21-24, 2003, Munich, Proceedings of SPI, Vol. 5063, S. 145-151.
- /4/ H. Exner, P. Regenfuss, L. Hartwig, S. Klötzer, R. Ebert: Microsintering of Miniature and Precise Components and Tools. Proc. of the Euro-uRapid, Frankfurt/Main, Dec. 1-2, 2003, B/3.
- /5/ P. Regenfuß, R. Ebert, S. Klötzer, L. Hartwig, H. Exner, T. Petsch : Mikrobauteile durch Lasersintern im Vakuum, Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 2004, Tagungsband (ISSN 0948-1427), S.182-192.
- /6/ R. Ebert, H. Exner: Vorrichtung und Verwendung von Vakuum und/oder einer zusätzlichen Wärmequelle zur direkten Herstellung von Körpern im Schichtaufbau aus pulverförmigen Stoffen.  
Patent Pending, reference number 199 52 998.1, date of application 01.11.1999.