

Selektives Lasersintern

Präzise Bauteile schnell generiert – ein Überblick

Das Selektive Lasersintern (SLS) hat sich seit nunmehr 20 Jahren zu einem industriell etablierten Verfahren entwickelt. Mit ihm lassen sich schnell und präzise Bauteile aus verschiedensten Materialien generieren. Kunststoff und Metall werden bereits in großer Vielfalt verarbeitet – die Verarbeitung von Keramik steht noch in den Startlöchern.

Konventionelle Sinterverfahren werden in der Regel bei hohen Temperaturen und relativ langen Haltezeiten durchgeführt. Im Gegensatz dazu steht bei der Laserbearbeitung nur eine kurze Einwirkzeit zur Verfügung, was völlig andere Prozesse erfordert. Mitunter entspricht das Lasersintern prozesstechnisch dann eher dem Löten oder Schweißen. Durch die gute Fokussierbarkeit der Laserstrahlstrahlung ist es möglich den Lasersinterprozess selektiv auf kleine Flächen zu beschränken. Mit einer Ablenkung des Laserstrahles durch Scanner werden vordefinierte Bereiche sehr präzise und schnell bearbeitet.

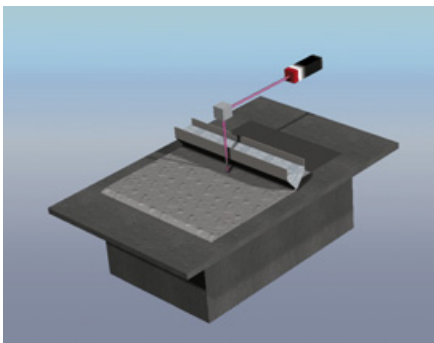


ABBILDUNG 1: Hier sieht man die prinzipielle Anordnung einer Anlage zum Selektiven Lasersintern (SLS) mit Laser, Scanner, Pulverbett und Rakel. Durch das raffinierte Zusammenspiel der Komponenten lassen sich dreidimensionale Werkstücke mit Hinterschneidungen relativ einfach erzeugen.

DER AUTOREN

HORST EXNER

Prof. Dr.-Ing. Horst Exner studierte von 1976 bis 1980 Elektrotechnik und machte seinen Abschluss als Diplomingenieur. Seit 1988 ist er Leiter des Laserapplikationszentrums Mittweida. Seit 1992 ist Horst Exner Professor an der Hochschule Mittweida und lehrt u. a. auf den Gebieten: Lasermikrobearbeitung, Laserbearbeitung von Keramik, Laserwerkzeuge und Laserintegration. Seit 1997 ist er Direktor des Laserinstituts Mittelsachsen e. V. und seit 2006 Prorektor für Forschung.



ROBBY EBERT

Dipl.-Phys. Robby Ebert studierte zwischen 1984 und 1989 Physik an der Technischen Universität in Chemnitz. Seit 1989 arbeitet er an der Hochschule Mittweida auf den Gebieten Lasermikrobearbeitung, Lasermikrosintern, Laser CVD, Lasertechnik und Lasermaterialbearbeitung allgemein. 2006 wurde er Leiter der Nachwuchsforscherguppe „Rapid Microtooling mit laserbasierten Verfahren“ (Förderprogramm Innoprofile).



In Verbindung mit einer ständigen Wiederholung des Prozesses in dünnen übereinanderliegenden Schichten kommt man zu einem Schichtbauverfahren: dem Selektiven Lasersintern (SLS, Abb. 1). Die dünnen Schichten werden durch eine Rakel – eine Art Spatel – erzeugt. Die Generierung der Schichtdaten erfolgt in der Regel aus 3D Oberflächendaten (z. B. im STL-Format, wie es viele CAD-Systeme benutzen) durch Slicen in vordefinierten Schichtdicken. Die Steuerung des Laserstrahles und des Pulveraufzuges geschieht per Software, sodass sich dreidimensionale Teile mit Hinterschneidungen relativ einfach erzeugen lassen.

Die SLS-Verfahren werden heute sowohl zur schnellen Erstellung von Modellen und Prototypen (auch „Rapid Prototyping“ genannt), als auch zur schnellen Erzeugung von Werkzeugen („Rapid Tooling“) oder zur individuellen Serienproduktion („Rapid Manufacturing“) eingesetzt. Die Wirtschaftlichkeit hängt von der Bauteilform und -größe sowie vom Material ab. Generell gilt: Gebautes Volumen verursacht Kosten, eine komplizierte Form jedoch fast keine. Das verhält sich konträr zu den konven-



Hochschule Mittweida (FH)
Prof. Dr.-Ing. Horst Exner
Dipl.-Phys. Robby Ebert
Laserinstitut Mittelsachsen e.V.
an der Hochschule Mittweida (FH)
Fachbereich Mathematik,
Physik und Informatik
Technikumplatz 17
09648 Mittweida
Tel.: +49 3727 581401
Fax: +49 3727 581496
E-Mail: exner@htwm.de
E-Mail: ebert@htwm.de

tionellen Verfahren, bei denen eine komplizierte Form eher höhere Kosten verursacht. Insbesondere bei hinterschnittenen Teilen (z. B. durch integrierte Kühlkanäle), die sich mit SLS einteilig produzieren lassen, werden die Vorteile sofort sichtbar.

Kunststoff-SLS

Die Anlagen für dieses Verfahren sind mit CO₂-Lasern ausgerüstet, deren Wellenlänge gut von Kunststoff absorbiert wird. Durch die schlechte Wärmeleitung des Kunststoffes würde das Pulver bei Einwirkung des Laserstrahles entweder nur in extrem dünnen Schichten aufschmelzen oder bei hö-

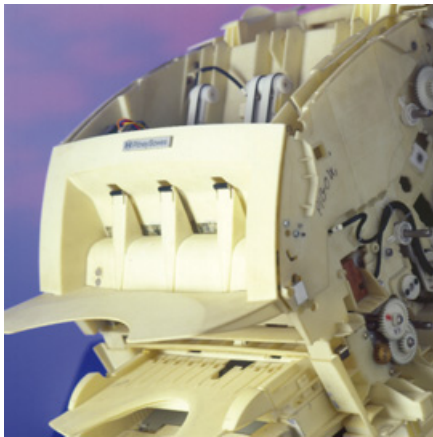


ABBILDUNG 2: Voll funktionsfähiger Prototyp der OfficeRight Kuvertiermaschine von Pitney Bowes. Sie schafft einen Durchlauf von 15 Briefen/Minute. Der Prototyp wurde mit DuraForm PA Kunststoff auf einer Sinterstation SLS Anlage gefertigt (Quelle: 3D Systems GmbH).



ABBILDUNG 3: Mit dem Kunststoff-SLS Verfahren lassen sich schnell und kostengünstig Kleinserien oder seriennahe Rapid Prototyping Kunststoffteile herstellen wie z. B. Brillengestelle. (Quelle: EOS GmbH)



ABBILDUNG 4: Nur ein Beispiel: Per Selektivem Lasermelting (SLM) lassen sich Zahnkappen (rechts) und daraus verblendete Zähne (links) herstellen. (Quelle: EOS GmbH).

herer Leistung sofort verdampfen. Deshalb wird das Pulver bis zu einer definierten Temperatur unterhalb des Schmelzpunktes in der Anlage vorgeheizt. Die zum Schmelzen benötigte Restenergie wird dann bei relativ geringer Laserleistung (50 W) und hoher Ablenkgeschwindigkeit (bis 10m/s) eingebracht, sodass eine hohe Baugeschwindigkeit erzielt wird. Die derzeit größten und leistungsfähigsten Anlagen mit Bauvolumina bis zu $70 \times 38 \times 58 \text{ cm}^3$ arbeiten parallel mit zwei Lasern und zwei Scannern.

Verlorene Modelle

Durch die Verwendung des Werkstoffes Polystyrol können sehr einfach verlorene Modelle (d. h. nur einmal verwendbare Modelle) für Gussformen hergestellt werden. Von den Polystyrolteilen werden Abgüsse hergestellt und das Polystyrol anschließend ausgebrannt. Insbesondere für Feinguss stellt die Technologie eine echte Alternative zur konventionellen Herstellung von Wachsmodellen dar. Für den Vakuumguss lassen sich ebenfalls Urmodelle generieren.

Funktionsteile

Mit hochfesten Werkstoffen wie Polyamid (Nylon) werden seriennahe Rapid Prototyping Kunststoffteile (Abb. 2) oder sogar Kleinserien realisiert (Abb. 3). Durch verschiedene Füllungen (Glas, Karbon, Aluminium) lassen sich spezifische Eigenschaften wie hohe Festigkeit und Temperaturbeständigkeit erreichen. In einer speziellen Modifikation des Pulvers können sogar elastische Bauteile generiert werden.

Metall-SLS

Die ersten Metall-SLS-Anlagen waren ebenfalls (analog zu den Kunststoff-SLS-Anlagen) mit CO_2 -Lasern ausgerüstet. Insbesondere zum mehrstufigen Sintern in der Abfolge



ABBILDUNG 5 Durch das SLM-Verfahren lassen sich schnell und kostengünstig Druck- und Spritzgusswerkzeuge mit konturngepassten Kühlkanälen herstellen. (Quelle: Concept Laser GmbH).

Grüнкörper, Infiltration und Nachsinterung waren diese Laser gut geeignet. Aber auch einstufiges Sintern von Spezialpulvern (Mischung aus hoch- und niedrigschmelzendem Pulver oder eutektische Pulververlegierung) wurde mit den Lasern realisiert.

In den letzten Jahren hat sich ein Wandel hin zu Festkörperlasern (Faserlaser oder Scheibenlaser) vollzogen. Die Wellenlänge ermöglicht eine bessere Fokussierbarkeit und Einkopplung der Strahlung in das Pulverbett.

Selektives Lasermelting

Beim Selektiven Lasermelting (SLM, ILT Aachen) wird das Pulver vollständig aufgeschmolzen. Dadurch können Metallpulver von industriell verwendeten Werkstoffen verarbeitet werden. Die entstehenden Gefüge weisen fast keine Fehlstellen auf, sodass sich die Teile genauso wie z. B. Gussteile einsetzen lassen. Fast alle Anbieter von Metall-SLS-Maschinen setzen heute auf dieses Verfahren. Die am Markt befindlichen Maschinen weisen Laserleistungen von 100–200 W auf. Je nach Werkstoff werden Bauraten von bis zu $30 \text{ cm}^3/\text{h}$, im Innenbereich auch bis zu $70 \text{ cm}^3/\text{h}$, erreicht. Bei Edelmetallen liegt die Baurate zwischen 5 und $10 \text{ cm}^3/\text{h}$.

Bekannte Anwendungen sind z. B. die schnelle Serienherstellung von Zahnkappen aus einer Kobalt-Chrom-Molybdänbasierten Superlegierung (Abb. 4). Dieses Verfahren wurde durch das deutsche Unternehmen Bego Medical weltweit erstmals auf dem Markt etabliert.

Weiterhin bekannt sind die Herstellung von Druck- und Spritzgusswerkzeugen.

DAS INSTITUT

Hochschule Mittweida

Die Hochschule Mittweida gehört mit ihrem Laserinstitut zu den führenden Einrichtungen auf dem Gebiet der Lasermikrostrukturierung. Die entsprechenden Verfahren werden seit über 30 Jahren untersucht. Zur modernen Ausstattung gehören neben fünf Mikrosinteranlagen auch Präzisionsanlagen mit fs-, UV- und Faserlasern. Das Institut ist ebenso in der PLD-Technologie, der Lasermakrobearbeitung, der Laserkomponentenentwicklung und der Lasermesstechnik/Photonik aktiv.



ABBILDUNG 6: Vollintegrierte Mikroturbine aus Edelstahl. Hergestellt via Lasermikrosintern mithilfe gütegeschalteter Laser und kurzen Pulsen (A. Streek; Projekt „Rapid Microtooling mit laserbasierten Verfahren“; Hochschule Mittweida). Dieses Verfahren zeichnet sich durch die Verarbeitbarkeit von allen bekannten Metallen bei besonders hohen Auflösungen aus (bis zu 30 µm).



ABBILDUNG 7: Durch die hohe Eigendichte lassen sich mit Zirkonoxid und dem SLM-Verfahren gut konturierte Bauteile herstellen (Quelle: Fraunhofer ILT Aachen).

Durch die Anwendung des SLM-Verfahrens kann Herstellungszeit und durch die Integration von Kühlkanälen im späteren Spritzgussprozess auch Prozesszeit gespart werden (Abb. 5).

Lasermikrosintern

Das Lasermikrosintern (Hochschule Mittweida/Laserinstitut) unterscheidet sich von den anderen SLS-Verfahren durch die Verwendung eines gütegeschalteten Lasers mit kurzen Pulsen. Durch die kurzen Pulse und die daraus resultierende begrenzte Energieeinbringung kann eine hohe Auflösung von bis zu 30 µm erzielt werden. Es sind alle bekannten Metalle, z. B. auch Wolfram, verarbeitbar (Abb. 6). Um die benötigten dünnen Pulverschichten (ca. 1 µm) erzeugen zu können, wird eine neuartige Ringrakel eingesetzt. Die Baurate ist sehr stark von der notwendigen Auflösung und dem Material abhängig. Sie bewegt sich derzeit zwischen 30 und 1000 mm³/h.

Keramik-SLS

Keramik stand schon früh im Fokus der SLS-Verfahren. Die ersten brauchbaren Teile aus SiC erhielt man durch mehrstufige Verfahren: Grünformen, Infiltrieren und Nachsintern (IKTS und IWS Dresden). In der Regel werden zum Sintern CO₂-Laser eingesetzt, da die Wellenlänge gut von der Keramik absorbiert wird.

Schlicker

Klassisch wird Keramikpulver mit Flüssigkeit zu so genanntem Schlicker verarbeitet. Der breiige Schlicker weist eine hohe Dichte und sehr gute Streichfähigkeit auf, sodass sich aus ihm leicht dünne Schichten erzeugen lassen. Für das SLS stellt dies auch eine Variante dar, jedoch muss die aufgetragene Schicht vor dem Sintern getrocknet werden. Mit einem solchen Verfahren wurden bereits größere Bauteile generiert. Besonders interessant ist die Erzeugung von porösen Gussformen, da durch die offenporige Struktur die Luft entweichen kann (IPT Aachen). Eine industrielle Umsetzung steht noch aus.

Pulver

Die Verarbeitung von trockenem Keramikpulver ist besonders schwierig, da die Pulver ohne separate Verdichtung nur zu geringer Dichte gerakelt werden können. Eine Ausnahme ist Zirkonoxid, da dies schon eine relativ hohe Dichte aufweist. Das Material lässt sich somit ausreichend dicht rakeln und mit dem SLM-Verfahren verarbeiten. Es entstehen gut konturierte Bauteile (Abb. 7).

Teile in hoher Festigkeit aus Aluminiumoxidkeramik lassen sich mit dem Lasermikrosintern herstellen. Zum Schichtauftrag wird hier wiederum eine spezielle Ringrakel eingesetzt. Durch einen thermischen Nachbehandlungsprozess werden Druckfestigkeiten von bis zu 1400 MPa und Biegebruchfestigkeiten von bis zu 130 MPa erreicht. Dies ist z. B. für dentale Anwendungen bereits ausreichend (Abb. 8). Industrielle Teile mit Hinterschneidungen können ebenfalls in hoher Auflösung (ca. 60 µm) mit dem Verfahren realisiert werden.

Formsand

Im weitesten Sinn zur Keramik gehörig kann man das Selektive Lasersintern von Formsand für den Sandguss zählen. Dazu werden übliche phenolharzgetränkte Aluminium-Silikat- oder Quarz-Formsande eingesetzt. Die enorm hohe Baurate von bis zu 2500 cm³/h

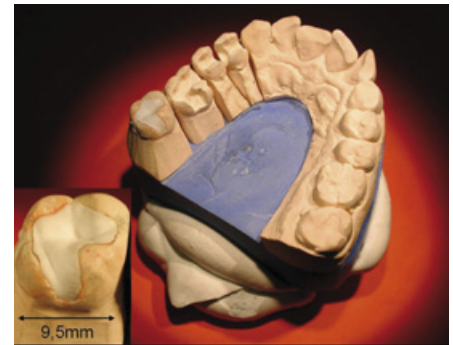


ABBILDUNG 8: Passgenaue Keramik-Inlays lassen sich mit dem Lasermikrosintern herstellen. Die Teile aus Aluminiumoxidkeramik zeichnen sich durch eine hohe Druck- und Biegebruchfestigkeit aus (M. Horn, L. Hartwig; Projekt „Verfahren zur schnellen Erzeugung von keramischen Inlays“; Hochschule Mittweida).

ermöglicht den ökonomischen Einsatz des Verfahrens zur flexiblen und schnellen Herstellung von Sandformen.

Ausblick

Mit dem Zweistrahl lasersintern wird zukünftig versucht, den grundsätzlichen Widerspruch zwischen einem für eine hohe Auflösung benötigten kleinen Fokus mit kleiner Leistung und einem für eine hohe Baugeschwindigkeit benötigten großen Fokus mit hoher Laserleistung zu lösen. Dies geschieht zum einen durch den Einsatz einer brillanten Laserquelle hoher Leistung (z. B. Monomode-Faserlaser) oder zum anderen durch zwei verfahrensangepasste Laserquellen. Die Kontur des Sinterbauteiles wird hoch aufgelöst jeweils mit einem optimalen Fokus erzeugt, der Innenbereich in hoher Sintergeschwindigkeit entweder mit defokussierter Strahlung des gleichen Lasers aber bei hoher Leistung oder einem separaten Laser mit optimalem Strahlprofil und hoher Leistung (z. B. Hochleistungsdiode-Laser mit Rechteckfokus). Bei Umsetzung entsprechend hoher Laserleistungen (ca. 5 kW) dürften mit dieser Methode langfristig bei Metall-SLS Bauraten von über 1000 cm³/h möglich sein.

Das SLS-Verfahren wird sich zukünftig in mehrere Richtungen weiterentwickeln: die Baugeschwindigkeit und die Auflösung werden erhöht und die Palette der prozesssicher verarbeitbaren Materialien wird ständig erweitert. Dies alles wird dem Verfahren eine noch größere Basis für ökonomische Anwendungsmöglichkeiten schaffen. Insbesondere für das Rapid Manufacturing gibt es perspektivisch sehr gute Wachstumsmöglichkeiten.