



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 102 58 934 B4** 2005.11.03

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 58 934.8**  
 (22) Anmeldetag: **13.12.2002**  
 (43) Offenlegungstag: **22.07.2004**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **03.11.2005**

(51) Int Cl.7: **B23K 26/34**  
**B23K 26/12, B22F 3/105**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Laserinstitut Mittelsachsen e.V., 09648 Mittweida, DE**

(74) Vertreter:  
**Krause, W., Dr.-Ing. Faching.f.Erfindungswesen, Pat.-Anw., 09648 Mittweida**

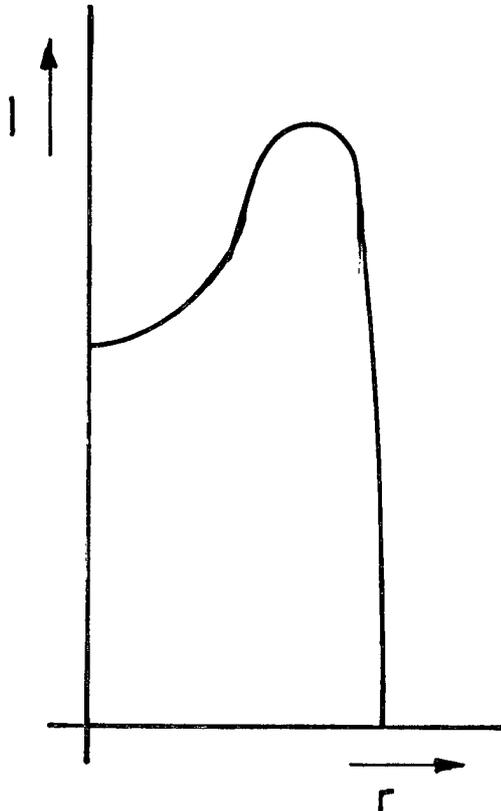
(72) Erfinder:  
**Ebert, Robby, Dipl.-Phys., 09114 Chemnitz, DE;**  
**Exner, Horst, Prof. Dr.-Ing., 09648 Mittweida, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

**DE 196 49 865 C1**  
**DE 199 53 000 A1**  
**DE 199 33 231 A1**  
**DE 199 09 882 A1**  
**DE 198 46 478 A1**  
**DE 198 08 569 A1**  
**DE 197 45 294 A1**  
**DE 197 01 483 A1**  
**DE 295 13 026 U1**  
**US 48 63 538**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers und Verwendung eines UltrakurzpulsLasers zur Herstellung eines Formkörpers**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers bestehend aus einem als Träger fungierenden Körper und als Pulverteilchen aufgebrachtene Körpern durch selektives Verbinden von Pulverteilchen mit dem Träger mit Laserstrahlen, dadurch gekennzeichnet, dass durch Bestrahlen der Pulverschicht einer Dicke kleiner/gleich  $5 \mu\text{m}$  mit einem Pulver mit einem Pulverkornquerschnitt kleiner/gleich  $1 \mu\text{m}$  mit gepulsten Laserstrahlen hoher Intensität von größer/gleich  $3 \cdot 10^{15} \text{ W/m}^2$  in einem Vakuum oder unter Schutzgas bis zu einer Temperatur kleiner als die Schmelztemperatur des Pulvers unter gleichzeitiger Einwirkung des Strahlungsdrucks der Laserstrahlen von gleich/größer 100 bar das Pulver und der Träger selektiv durch Sintern ohne Schmelzphasenanteil verbunden werden, wobei der Formkörper mit Mikrostrukturen entsteht.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers bestehend aus einem als Träger fungierenden Körper und als Pulverteilchen aufgebrachtene Körpern durch selektives Verbinden von Pulverteilchen mit dem Träger mit Laserstrahlen und die Verwendung von Ultrakurzpulslasern zur Herstellung von Formkörpern.

## Stand der Technik

**[0002]** Verfahren und Vorrichtungen zum Verbinden von Körpern mit Laserstrahlen sind unter anderem durch die DE 197 01 483 A1 (Verfahren zum Aufbringen erhabener Strukturen auf Sinterbauteilen) bekannt. Das Bauteil befindet sich auf einem Manipulator der gegenüber einem Laserstrahl bewegt wird. Die Erwärmung erfolgt bis das aufgebrachte Material aufgeschmolzen wird und sich mit dem Sinterbauteil verbindet. Dabei handelt es sich um ein Auftragschmelzen. Die DE 295 13 026 U1 (Vorrichtung zur schichtweisen Herstellung eines Objektes mittels Lasersintern) beinhaltet im Wesentlichen eine Fokussiervorrichtung, wobei ein Schutzgasstrahl den Strahl einer elektromagnetischen Strahlung aufnimmt und beide zusammen auf die Oberfläche der Arbeitsebene gelangen. Pulverförmiges Material für den herzustellenden Sinterkörper kann durch den Schutzgasstrahl weggeblasen werden. Bei zu geringem Druck des Schutzgases gelangt dieses nicht mehr hinreichend zur Oberfläche des Sinterkörpers. In der DE 199 09 882 A1 (Material zur schichtweisen Herstellung von Werkzeugen, Formen oder Bauteilen durch das Lasersinterverfahren) wird ein Verfahren beschrieben, wobei durch bahnweises in mehreren Schichten aufgetragenes Material und durch einen Laserstrahl ein Sinterkörper hergestellt wird. Mittels einer aufgeschmolzenen Bindemittelzusammensetzung werden auftretende Poren im Sinterkörper verfüllt, wobei eine schmelzende als selbstfließende Legierung ausgebildete Bindemittelkomponente infiltriert. Dabei handelt es sich ein kombiniertes Verfahren Sintern/Schmelzen. Die DE 198 46 478 A1 (Laser-Sintermaschine) beinhaltet insbesondere eine Kunststoff Laser-Sintermaschine. Hauptaugenmerk gilt einem Wechselbehälter mit einer Werkstückplattform als Behälterboden und einer Trägervorrichtung dafür.

**[0003]** Mit einem durch die US 4 863 538 (Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Körpern durch selektives Sintern) beschriebenen Laser wird ein Körper mit unter anderem gepulsten Laserstrahlen durch Sintern generiert, wobei die Intensität so gehalten wird, dass an den Pulverteilchen keine Aufschmelzungen auftreten. Mit einer derartigen Vorgehensweise ist aber ein Sintern nicht gegeben, da die Sinterzeit viel zu groß wäre. Weiterhin ist mit dem Laser maximal ein Lichtdruck von 1 bar erzeugbar, wo-

bei keine Beschleunigung des Sinterprozesses gegeben ist.

**[0004]** Durch die DE 199 53 000 A1 (Verfahren und Einrichtung zur schnellen Herstellung von Körpern und Verwendung von mehreren Strahlen zur schnellen Herstellung von Körpern) und DE 196 49 865 C1 (Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers) werden Körper aus nacheinander aufgebrachtene und mit Laserstrahlen gesinterten oder geschweißten Schichten aus Pulverteilchen unter Vakuum oder Schutzgas hergestellt, wobei keine gepulsten Laserstrahlen angewandt werden. Die Schichten werden insbesondere in der DE 196 49 865 C1 aufgeschmolzen. Damit ist eine hohe thermische Belastung der Körper vorhanden.

## Aufgabenstellung

**[0005]** Der in den Patentansprüchen 1 und 4 angegebenen Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, selektiv Körper und Träger so mit Laserstrahlen eines Lasers zu bearbeiten, dass bei geringer thermischer Belastung und hoher geometrischer Auflösung ein aus entweder dem Körper oder den Körpern und dem Träger gebildeter Formkörper oder eine feste Verbindung zwischen einem Körper und dem Träger entsteht und vorhanden ist.

**[0006]** Diese Aufgabe wird mit den in den Patentansprüchen 1 und 4 aufgeführten Merkmalen gelöst.

**[0007]** Die Verfahren zur Herstellung von Formkörpern und die Verwendung von Ultrakurzpulslasern zum Herstellen von Formkörpern zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass der Formkörper mit geringer thermischer Belastung und hoher geometrischer Auflösung realisierbar ist. Der Formkörper wird durch das selektive Lasersintern von Mikrostrukturen auf dem Körper als Träger erzeugt. Dazu wird wenigstens bereichsweise eine Schicht aus Körpern als Pulverschicht auf die Oberfläche des Trägers aufgebracht. Durch das selektive Bestrahlen der Pulverschicht mit gepulsten Laserstrahlen hoher Intensität in einem Vakuum oder unter Schutzgas bis zu einer Temperatur kleiner als die Schmelztemperatur des Pulvers unter gleichzeitiger Einwirkung des Strahlungsdrucks der Laserstrahlen verbinden sich durch Sintern das Pulver und der Körper, so dass ein Formkörper entsteht.

**[0008]** Bei der Herstellung des Pulvers wird durch Energiezufuhr die Oberflächenspannung überwunden. Das Pulver ist somit gegenüber dem kompakten Zustand nicht im Gleichgewicht. Die Vereinigung mehrerer Pulverkörper erfolgt mit dem Abbau der bestehenden Spannungen durch Platzwechselvorgänge von sich berührenden Teilchen der Pulverkörper. Für das beschleunigte Entstehen fester Verbindungsstellen durch Diffusion von Teilchen wird das Pulver

erwärmt und verdichtet. Das erfolgt vorteilhafterweise gleichzeitig mit dem Bestrahlen des Pulvers durch den gepulsten Laser, wobei ein fester Formkörper entsteht. Die Breite und Form der Struktur wird durch die Größe, Form und Pulsenergie des auf die Körper auftreffenden Laserpulses bestimmt, wobei breitere Strukturen durch mehrmaliges paralleles Führen des Laserstrahles erzeugt werden können.

**[0009]** Dreidimensionale Strukturen können durch mehrmaligen Ablauf des Vorganges bei sich schichtweise ändernder oder gleichbleibender selektiver Bestrahlung ebenfalls leicht erzeugt werden.

**[0010]** Die Pulverschicht besitzt dazu eine Dicke kleiner/gleich  $5 \mu\text{m}$  und der Pulverkornquerschnitt des Pulvers ist kleiner/gleich  $1 \mu\text{m}$ . Über eine Fokussier- oder Abbildungsoptik wird eine Intensität von größer/gleich  $3 \cdot 10^{15} \text{ W/m}^2$  erzeugt, wodurch die Ausbildung eines Strahlungsdruckes von größer/gleich 100 bar gewährleistet ist.

**[0011]** Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Patentansprüchen 2 und 3 angegeben.

**[0012]** Günstige Parameter für den Ultrakurzpulslaser sind nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 2 eine Pulszeit kleiner/gleich 1 ns.

**[0013]** Der Einsatz eines Lasers mit einem Laserstrahl mit einem negativ gekrümmten Strahlprofil nach der Weiterbildung des Patentanspruchs 3 verhindert vorteilhafterweise ein Wegspritzen von Pulverkörpern beim Auftreffen der Laserstrahlen.

#### Ausführungsbeispiel

**[0014]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden näher beschrieben.

**[0015]** Es zeigt die

**[0016]** Fig. eine Intensitätsverteilung in der Fokusebene für einen Laserstrahl mit einem negativ gekrümmten Strahlprofil auf der Pulveroberfläche.

**[0017]** Ein Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers wird im folgenden Ausführungsbeispiel näher erläutert.

**[0018]** Der als Träger fungierende Körper befindet sich in einer evakuierbaren Arbeitskammer und wird in der Arbeitskammer mit einer Pulverschicht oder ist mit einer Pulverschicht versehen. Die Pulverschicht besitzt eine Dicke kleiner/gleich  $5 \mu\text{m}$  und der Pulverkornquerschnitt ist kleiner/gleich  $1 \mu\text{m}$ . Nach der Evakuierung der Arbeitskammer wird die Pulverschicht mit gepulsten Laserstrahlen hoher Intensität bis zu einer Temperatur kleiner als die Schmelztemperatur des Pulvers unter gleichzeiti-

ger Einwirkung des Strahlungsdrucks der Laserstrahlen bestrahlt, wobei das Pulver und der Träger selektiv durch Sintern verbunden werden und ein Körper mit damit verbundenen Mikrostrukturen aus der Pulverschicht als Formkörper vorhanden ist.

**[0019]** Der Laser befindet sich entweder in der Arbeitskammer oder die Laserstrahlen des Lasers gelangen über ein Fenster in die Arbeitskammer. Zur Erzeugung der Mikrostruktur aus dem Pulver auf dem Träger wird der Träger und/oder der Laser über einen bekannten Bewegungsmechanismus verfahren. Der Laser ist ein Ultrakurzpulslaser z.B. ein Femto-Sekunden-Laser. Ein derartiger Laser mit einer Pulsenergie von  $2 \mu\text{J}$  erzeugt bei einer Pulszeit von 150 fs und einem Fokussdurchmesser von  $10 \mu\text{m}$  einen Strahlungsdruck von ungefähr 8000 bar an absorbierenden Schichten und von ungefähr 16000 bar an reflektierenden Schichten. Durch eine Repetitionsrate von 250 kHz erzeugt der Laser eine mittlere Leistung von 500 mW, die zum Erwärmen der Pulverschicht geeignet ist. Der Strahlungsdruck führt zum Verdichten und zur zusätzlichen Erwärmung der Pulverschicht vorzugsweise unterhalb der Oberfläche. Während der Einwirkung des Pulses wird die Oberfläche bis zu einer Temperatur kleiner als die Schmelztemperatur erwärmt, wobei durch die zusätzlich entstehende Umformungsenergie in den Schichten unterhalb der Oberfläche auch ein Schmelzphasenanteil entstehen kann.

**[0020]** In einer Ausführungsvariante kann der Laserstrahl vorteilhafterweise ein negativ gekrümmtes Strahlprofil auf der Pulveroberfläche besitzen, wobei eine Intensitätsverteilung in der Fokusebene entsprechend der Darstellung in der Fig. mit I für die Intensität und r für den Radius des Laserstrahls vorhanden ist.

**[0021]** Die Laserstrahlen des Ultrakurzpulslasers gelangen vorteilhafterweise über entweder eine Fokussieroptik oder eine Abbildungsoptik auf die Pulverschicht.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Formkörpers bestehend aus einem als Träger fungierenden Körper und als Pulverteilchen aufgebrachtene Körpern durch selektives Verbinden von Pulverteilchen mit dem Träger mit Laserstrahlen, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch Bestrahlen der Pulverschicht einer Dicke kleiner/gleich  $5 \mu\text{m}$  mit einem Pulver mit einem Pulverkornquerschnitt kleiner/gleich  $1 \mu\text{m}$  mit gepulsten Laserstrahlen hoher Intensität von größer/gleich  $3 \cdot 10^{15} \text{ W/m}^2$  in einem Vakuum oder unter Schutzgas bis zu einer Temperatur kleiner als die Schmelztemperatur des Pulvers unter gleichzeitiger Einwirkung des Strahlungsdrucks der Laserstrahlen von gleich/größer 100 bar das Pulver und der Träger

selektiv durch Sintern ohne Schmelzphasenanteil verbunden werden, wobei der Formkörper mit Mikrostrukturen entsteht.

2. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die gepulsten Laserstrahlen von einem Ultrakurzpuls laser mit einer Pulszeit kleiner/gleich 1 ns erzeugt werden.

3. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die gepulsten Laserstrahlen in der Bearbeitungsebene ein negativ gekrümmtes Strahlprofil aufweisen.

4. Verwendung eines Ultrakurzpuls lasers zur Herstellung eines Formkörpers, dadurch gekennzeichnet, dass nach Aufbringen einer Pulverschicht einer Dicke kleiner/gleich  $5\ \mu\text{m}$  mit einem Pulver mit einem Pulverkornquerschnitt kleiner/gleich  $1\ \mu\text{m}$  auf die Oberfläche eines Körpers in einem Vakuum oder unter Schutzgas die gepulsten Laserstrahlen mit einer Intensität von größer/gleich  $3 \cdot 10^{15}\ \text{W/m}^2$  zur Erwärmung des Pulvers kleiner als die Schmelztemperatur und gleichzeitig der auf dem Pulver wirkende gepulste Strahlungsdruck der Laserstrahlen von gleich/größer 100 bar zum selektiven Verbinden von Pulverteilchen mit dem Körper verwendet werden, wobei ein gesinterter Formkörper mit Mikrostrukturen ohne Schmelzphasenanteil entsteht.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

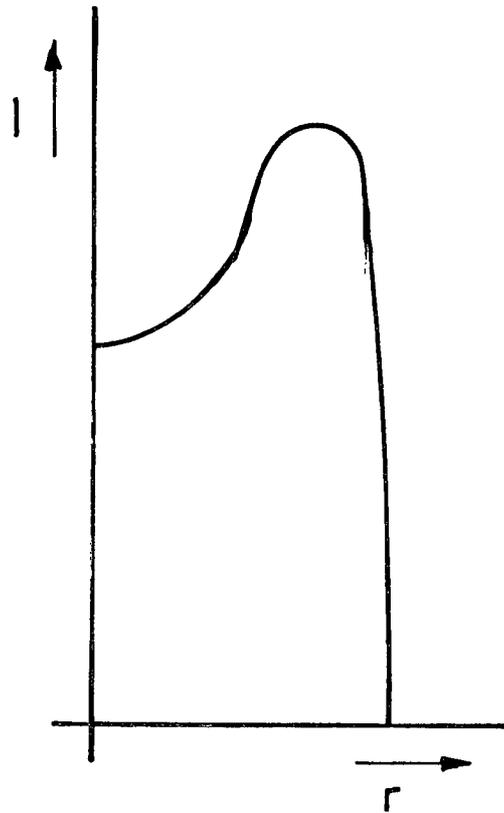


Fig .