

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. Februar 2020 (20.02.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/035496 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B29C 64/153 (2017.01) B29C 64/273 (2017.01)
B29C 64/268 (2017.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/071731

(22) Internationales Anmeldedatum:

13. August 2019 (13.08.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2018 213 675.0

14. August 2018 (14.08.2018) DE

(71) Anmelder: EOS GMBH ELECTRO OPTICAL SYSTEMS [DE/DE]; Robert-Stirling-Ring 1, 82152 Krailling (DE).

(72) Erfinder: PATERNOSTER, Stefan; Pähler-Hart-Str. 2, 82346 Andechs (DE). FRUTH, Albert; Ludwigstr. 23, 82110 Germering (DE).

(74) Anwalt: PRÜFER & PARTNER MBB PATENTANWÄLTE RECHTSANWÄLTE; Sohneckstr. 12, 81479 München (DE).

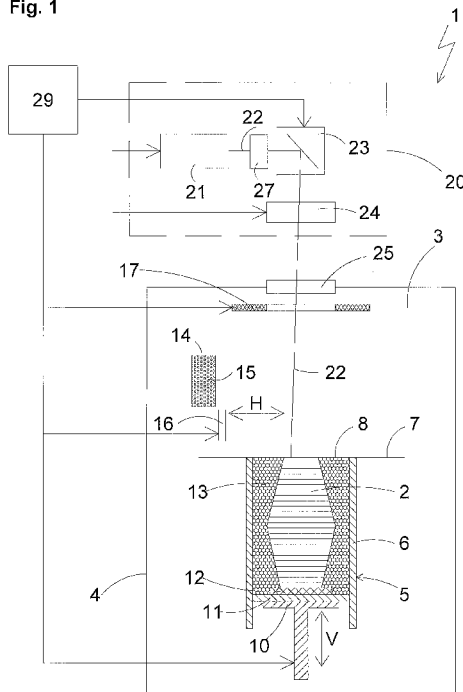
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,

(54) Title: ADDITIVE PRODUCTION DEVICE AND ASSOCIATED ADDITIVE PRODUCTION METHOD

(54) Bezeichnung: ADDITIVE HERSTELLVORRICHTUNG UND ZUGEORDNETES ADDITIVES HERSTELLVERFAHREN

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to an additive production device for producing a three-dimensional object, comprising a layer application device (16) for applying a building material layer to layer, an energy input device (20) which comprises a carbon monoxide laser (21) and a radiation supply device for supplying laser radiation of the carbon monoxide laser to points in each layer which are associated with the cross-section of the object in said layer, and a laser power modification device (27) which, in the event of an increase in laser power, is suitable to cause an increase in the power impinging on the building material per unit of area within a period of time, which is less than 300 μ s and/or greater than 50 ns, and/or, in the event of a reduction in laser power, to cause a drop in the power impinging on the building material per unit of area within a period of time, which is less than 100 μ s and/or greater than 100 ns.

(57) Zusammenfassung: Eine additive Herstellvorrichtung zur Herstellung eines dreidimensionalen Objekts weist eine Schichtauftragsvorrichtung (16) zum Auftragen eines Aufbaumaterials Schicht auf Schicht, eine Energieeintragungseinrichtung (20), welche einen Kohlenmonoxidlaser (21) und eine Strahlungszufuhreinrichtung zum Zuführen von Laserstrahlung des Kohlenmonoxidlasers zu Stellen in jeder Schicht, die dem Querschnitt des Objekts in dieser Schicht zugeordnet sind, aufweist, und eine Laserleistungsmodifikationsvorrichtung (27), welche geeignet ist, bei einer Erhöhung der Laserleistung einen Anstieg der auf das Aufbaumaterial auftreffenden Leistung pro Flächeneinheit innerhalb eines Zeitraums zu bewirken, der geringer als 300 μ s und/oder größer als 50 ns ist, und/oder bei einer Reduzierung der Laserleistung einen Abfall der auf das Aufbaumaterial auftreffenden Leistung pro Flächeneinheit innerhalb eines Zeitraums zu bewirken, der geringer als 100 μ s und/oder größer als 100 ns ist, auf.

WO 2020/035496 A1

SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
- *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

5

Additive Herstellvorrichtung und zugeordnetes additives Herstellverfahren

10 Die Erfindung betrifft eine additive Herstellvorrichtung, ein zugeordnetes additives Herstellverfahren und einen mittels derselben hergestellten Formkörper

Additive Herstellvorrichtungen und zugehörige Verfahren (auch als „Additive Manufacturing“ bezeichnet) sind allgemein dadurch charakterisiert, dass in ihnen Objekte
15 durch Verfestigen eines formlosen Aufbaumaterials Schicht für Schicht hergestellt werden. Die Verfestigung kann beispielsweise durch Zufuhr von Wärmeenergie zum Aufbaumaterial mittels Bestrahlen desselben mit elektromagnetischer Strahlung oder Teilchenstrahlung (z.B. Lasersintern oder Laserschmelzen oder Elektronenstrahl-
20 schmelzen) herbeigeführt werden. Beispielsweise beim Lasersintern oder Laserschmelzen wird der Auftreffbereich eines Laserstrahls auf eine Schicht des Aufbaumaterials über jene Stellen der Schicht bewegt, die dem Objektquerschnitt des herzustellenden Objekts in dieser Schicht entsprechen.

Wenn als Aufbaumaterial ein Kunststoffpulver (Polymerpulver) gewählt wird, so wird
25 üblicherweise eine Verfestigung des Aufbaumaterials mittels Bestrahlung mit einem CO₂-Laser bewirkt. Letzterer emittiert Strahlung einer Wellenlänge von 10,6 µm und wird insbesondere deshalb verwendet, weil die meisten Polymermaterialien Strahlung einer Wellenlänge von 10,6 µm gut absorbieren.

Da die Fokusgröße der Strahlung auf dem Aufbaumaterial von der Wellenlänge abhängig ist, lässt sich bei den hergestellten Objekten eine umso größere Detailauflösung erzielen, je geringer die Wellenlänge der zum Verfestigen verwendeten Strahlung ist. Wegen der schlechten Absorption kürzerer Wellenlängen als 10,6 μm durch Polymermaterialien, schlägt DE 199 18 981 A1 vor, das Aufbaumaterial mit einem Absorber zu vermischen, der Laserstrahlung einer Wellenlänge von 500 bis 1500 nm absorbiert, sodass auch ein in diesem Wellenlängenbereich emittierender Laser, beispielsweise ein Nd-YAG- oder ein Nd-YLF-Laser zum Einsatz kommen kann und eine bessere Detailauflösung erreicht werden kann.

Der Einsatz von Absorberadditiven bringt allerdings eine Anzahl von Nachteilen mit sich. Zum einen erhöhen sich die Prozesskosten infolge der Materialkosten der Absorberadditive und des Erfordernisses der homogenen Vermischung der Absorberadditive mit dem Aufbaumaterial bzw. des Aufbringen der Absorberadditive auf eine Schicht des Aufbaumaterials. Desweiteren schrumpft das Prozessfenster, also der zur Verfügung stehende Temperaturbereich für eine stabile Prozessführung. Ferner ist die Prozessregelung schwieriger, weil Inhomogenitäten in der Absorbermenge zu Inhomogenitäten im hergestellten Objekt bzw. dessen Oberfläche führen können. Schließlich ist es schwieriger, Objekte mit einer gewünschten Farbe zu erhalten: Ein dunkler Absorber, wie z.B. Ruß, führt zu dunklen Objekten, die sich nur unter erhöhtem Aufwand umfärben lassen, wenn z.B. helle Objekte gewünscht sind, bei denen nicht die dunkle Farbe durchschimmert.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher die Bereitstellung einer laserbasierten additiven Herstellvorrichtung und eines zugehörigen additiven Herstellverfahrens, mittels derer Objekte mit höherer Detailauflösung ohne zusätzliche Nachteile auf additive Weise hergestellt werden können.

Die Aufgabe wird gelöst durch eine additive Herstellvorrichtung nach Anspruch 1, ein additives Herstellverfahren nach Anspruch 8 und einen Formkörper nach Anspruch 14. Weiterbildungen der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen bean-

spricht. Insbesondere kann eine erfindungsgemäße Vorrichtung auch durch untenstehende bzw. in den abhängigen Ansprüchen ausgeführte Merkmale der erfindungsgemäßen Verfahren weitergebildet sein und umgekehrt. Ferner können die im Zusammenhang mit einer Vorrichtung beschriebenen Merkmale auch zur Weiterbildung einer anderen erfindungsgemäßen Vorrichtung benutzt werden, selbst wenn dies nicht explizit angegeben wird.

Eine erfindungsgemäße additive Herstellvorrichtung zur Herstellung eines dreidimensionalen Objekts weist auf:

- 10 eine Schichtauftragsvorrichtung zum Auftragen eines Aufbaumaterials Schicht auf Schicht,
- eine Energieeintragseinrichtung, welche
 - einen Kohlenmonoxidlaser, und
 - eine Strahlungszufuhreinrichtung zum Zuführen von Laserstrahlung des
- 15 Kohlenmonoxidlasers zu Stellen in jeder Schicht, die dem Querschnitt des Objekts in dieser Schicht zugeordnet sind, aufweist,
- und
- eine Laserleistungsmodifikationsvorrichtung, welche geeignet ist, bei einer Erhöhung der Laserleistung einen Anstieg der auf das Aufbaumaterial auftreffenden
- 20 Leistung pro Flächeneinheit innerhalb eines Zeitraums zu bewirken, der geringer als 300 μ s und/oder größer als 50 ns ist, und/oder bei einer Reduzierung der Laserleistung einen Abfall der auf das Aufbaumaterial auftreffenden Leistung pro Flächeneinheit innerhalb eines Zeitraums zu bewirken, der geringer als 100 μ s und/oder größer als 100 ns ist.

25 Bei additiven Herstellvorrichtungen und –verfahren, auf die sich die vorliegende Erfindung bezieht, wird Energie in Form von Laserstrahlung selektiv einer Schicht des Aufbaumaterials zugeführt. Die Strahlung trifft dabei in einer Arbeitsebene auf das Aufbaumaterial, die in der Regel eine Ebene ist, in der die der Energieeintragseinrichtung zugewandte Oberseite der Schicht liegt. Infolge der zugeführten Energie erwärmt sich

30 das Material, wodurch das Aufbaumaterial versintert oder aufgeschmolzen wird.

Es sei an dieser Stelle bemerkt, dass mittels einer additiven Herstellvorrichtung nicht nur ein Objekt, sondern auch mehrere Objekte gleichzeitig hergestellt werden können. Wenn in der vorliegenden Anmeldung von der Herstellung eines Objekts die Rede ist, dann versteht es sich, dass die jeweilige Beschreibung in gleicher Weise auch auf
5 additive Herstellverfahren und –vorrichtungen anwendbar ist, bei denen mehrere Objekte gleichzeitig hergestellt werden.

Hinsichtlich der Ausgestaltung der Schichtauftragsvorrichtung in der erfindungsgemäßen additiven Herstellvorrichtung bestehen keinerlei Beschränkungen. Jede im Be-
10 reich der additiven Fertigung bekannte Schichtauftragsvorrichtung, die in der Lage ist, ein Aufbaumaterial schichtweise, d.h. Schicht auf Schicht, aufzutragen, kann Bestandteil der additiven Herstellvorrichtung sein. Die Schichtauftragsvorrichtung muss lediglich geeignet sein, ein formloses Aufbaumaterial, insbesondere ein Pulver, aufzutragen, wobei oftmals mittels einer Abstreifvorrichtung für eine ebene Oberfläche einer
15 aufgetragenen Schicht und damit für einen konstanten Abstand zwischen Energieeintragungseinrichtung und Aufbaumaterial gesorgt wird.

Insbesondere ist die Schichtauftragsvorrichtung in der Lage, ein polymerhaltiges Aufbaumaterial zu handhaben, also insbesondere ein Kunststoffpulver bzw. ein Pulver,
20 das einen Kunststoffanteil aufweist, der durch die Energiezufuhr aufgeschmolzen werden soll.

Bei dem Kohlenmonoxidlaser kann es sich um einen kommerziell erhältlichen Laser handeln. Üblicherweise liegt die von einem Kohlenmonoxidlaser emittierte Strahlung
25 im Bereich zwischen 4 und 8 μm , beispielsweise zwischen 5 und 6 μm . Die verwendbaren Strahlungszufuhreinrichtungen können in ihrem prinzipiellen Aufbau die gleichen sein, die im Bereich des Additive Manufacturing bei der Verwendung von CO₂-Lasern zum Einsatz kommen. In der Regel enthält eine Strahlungszufuhreinrichtung eine Strahlableitvorrichtung, mittels welcher die Laserstrahlung auf eine Schicht des
30 Aufbaumaterials gelenkt wird.

Die erfindungsgemäß vorhandene Laserleistungsmodifikationsvorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass sie bei entsprechender Ansteuerung in der Lage ist, innerhalb eines kurzen Zeitraums die dem Aufbaumaterial zugeführte Laserleistung, also insbesondere die pro Flächeneinheit auf das Aufbaumaterial auftreffende Leistung, abzu-

5 ändern. Dabei bezieht sich die für eine Leistungserhöhung spezifizierte Zeit auf die Differenz zwischen den Zeitpunkten, zu denen die vorhandene Laserleistung um 10 % bzw. 90 % des Leistungsdifferenzbetrags erhöht ist. Hierbei bezieht sich der Leistungsdifferenzbetrag auf den Unterschied zwischen der nach der Leistungserhöhung dem Aufbaumaterial zugeführten Laserleistung pro Flächeneinheit und der vor der

10 Leistungserhöhung dem Aufbaumaterial zugeführten Laserleistung pro Flächeneinheit. In gleicher Weise bezieht sich die für eine Leistungsreduzierung spezifizierte Zeit auf die Differenz zwischen den Zeitpunkten, zu denen die vorhandene Laserleistung um 10 % bzw. 90 % des Leistungsdifferenzbetrags reduziert ist. Hierbei bezieht sich der Leistungsdifferenzbetrag auf den Unterschied zwischen der nach der Leistungsre-

15 duzierung dem Aufbaumaterial zugeführten Laserleistung pro Flächeneinheit und der vor der Leistungsreduzierung dem Aufbaumaterial zugeführten Laserleistung pro Flächeneinheit.

Bevorzugt wird bei der vorliegenden Erfindung ein Dauerstrichlaser (cw-Laser) verwendet. Mit anderen Worten, es findet bevorzugt keine Gütemodulation (Q-switching) des Laserresonators statt. Der Vorteil von Dauerstrichlasern liegt darin, dass sie schmale Linien aufweisen, wodurch unter Umständen eine bessere Absorption im Material gegeben ist.

25 Es sei in diesem Zusammenhang betont, dass die Laserleistungsmodifikationsvorrichtung im Strahlengang hinter dem Kohlenmonoxidlaser angeordnet ist, mit anderen Worten, die Laserleistungsmodifikationsvorrichtung ist nicht Bestandteil des Kohlenmonoxidlasers, sondern modifiziert die Leistung der Laserstrahlung erst nachdem diese den Kohlenmonoxidlaser verlassen hat. Unter einer Laserleistungsmodifikations-

30 vorrichtung wird also ausdrücklich nicht eine Steuervorrichtung des Kohlenmonoxidlasers verstanden. Vielmehr wird es mittels der Laserleistungsmodifikationsvorrichtung möglich, für einen raschen Anstieg und Abfall der Strahlungsintensität beim Erhöhen

und Verringern der Strahlungsleistungszufuhr zum Aufbaumaterial zu sorgen. Es geht hierbei also nicht um Pulsanstiegs- oder Pulsabfallszeiten eines gepulsten Lasers.

Es wurde festgestellt, dass die von einem Kohlenmonoxidlaser emittierte Strahlung
5 von Polymermaterialien, beispielsweise Polyamid, sehr gut absorbiert wird, sodass auf den Einsatz von Absorbermaterialien verzichtet werden kann. Gleichzeitig kann aufgrund der im Vergleich zum Kohlendioxidlaser verringerten Wellenlängen eine bessere Detailauflösung erzielt werden. Infolge des verringerten Strahlfokus ist es desweiteren möglich, zu besseren Oberflächen der hergestellten Objekte, insbesondere einer
10 geringeren Oberflächenrauigkeit, zu gelangen.

Kohlenmonoxidlaser lassen sich normalerweise nicht so schnell an- und abschalten wie Kohlendioxidlaser. Infolge der erfindungsgemäß vorhandenen Laserleistungsmodifikationsvorrichtung kann jedoch der Kohlenmonoxidlaser mit gleicher Geschwindigkeit
15 oder sogar deutlich höherer Geschwindigkeit als ein Kohlendioxidlaser geschaltet werden. Da während des selektiven Verfestigens einer Aufbaumaterialschicht der Laserstrahl in der Regel sehr oft an- und ausgeschaltet werden muss, ist es daher für eine schnelle Fertigung von Objekten mittels additiver Herstellung von Belang, wenn erfindungsgemäß keine Geschwindigkeitseinbußen beim Herstellvorgang in Kauf
20 genommen werden müssen und trotzdem die Vorteile der Verwendung einer kurzwelligeren Strahlung ausgenutzt werden können.

Vorzugsweise handelt es sich bei der Laserleistungsmodifikationsvorrichtung um einen akustooptischen oder elektrooptischen Modulator.
25 Die genannten Modulatoren sind besonders geeignet, schnelle Schaltvorgänge, insbesondere ein schnelles Schalten bzw. Abändern der dem Aufbaumaterial zugeführten Laserstrahlung zu bewirken.

Weiter bevorzugt wird die die Laserleistungsmodifikationsvorrichtung in nullter Ordnung durchdringende Laserstrahlung den Stellen in jeder Schicht, die dem Querschnitt
30 des Objekts in dieser Schicht zugeordnet sind, zur Verfestigung des Aufbaumaterials zugeführt.

Bei dieser Betriebsweise des akustooptischen oder elektrooptischen Modulators kommt es nicht zu einer Strahlablenkung des den Modulator durchdringenden Laserlichts, welches dem Aufbaumaterial zugeführt werden soll. Dies schließt Fehler aus,
5 die durch Änderungen des Ablenkwinkels hervorgerufen werden können und vereinfacht die Justierung. Beim Abschalten der Strahlungszufuhr wird im Wesentlichen Energie von der nullten Ordnung in die höheren Ordnungen abgezogen.

Wie die Erfinder feststellen konnten, kann das beim Abschalten der Strahlungszufuhr
10 in der nullten Ordnung noch vorhandene Restlicht toleriert werden, selbst wenn es sich bei dem Aufbaumaterial um ein polymerhaltiges Aufbaumaterial handelt. Wenn bei der additiven Fertigung von Objekten ein polymerhaltiges Aufbaumaterial verwendet wird, dann wird normalerweise das Aufbaumaterial mittels einer Strahlungsheizung auf eine Arbeitstemperatur knapp unterhalb der Schmelztemperatur aufgeheizt.
15 Die Laserstrahlung führt dann nur noch die fehlende Restenergie für ein Aufschmelzen des Materials zu. Obwohl man daher annehmen könnte, dass vorhandenes Restlicht zu einem unbeabsichtigten Aufschmelzen von Aufbaumaterial führt, zeigte es sich, dass sich solch ein unbeabsichtigtes Aufschmelzen bei Verwendung von polymerhaltigem Aufbaumaterial vermeiden lässt, wenn entweder dafür gesorgt wird, dass
20 das "abgeschaltete" Laserstrahlbündel nicht zu lange auf dieselbe Stelle des Aufbaumaterials gerichtet ist oder aber die Arbeitstemperatur geringfügig abgesenkt wird. Bei Verwendung von metallbasiertem Aufbaumaterial, insbesondere Stahlpulver, ist das vorhandene Restlicht unkritisch, da in diesen Fällen ein beträchtlicher Prozentsatz der zum Aufschmelzen nötigen Energie durch die Laserstrahlung zugeführt wird, ähnlich
25 wie bei der Laserbearbeitung.

Weiter bevorzugt weist bei der additiven Herstellvorrichtung die Strahlungszufuhreinrichtung eine Ablenkeinrichtung auf, die geeignet ist, Laserstrahlung des Kohlenmonoxidlasers zu Stellen in jeder Schicht, die dem Querschnitt des Objekts in dieser
30 Schicht zugeordnet sind, zu lenken und/oder

eine Fokussiereinrichtung, die geeignet ist, Laserstrahlung des Kohlenmonoxidlasers auf die Oberfläche einer Aufbaumaterialschicht zu fokussieren. Dabei ist eine

charakteristische Abmessung, insbesondere eine Aperturgröße, der Ablenk- und/oder Fokussiereinrichtung, geringer oder gleich etwa 50 mm, vorzugsweise geringer oder gleich etwa 20 mm, besonders bevorzugt geringer oder gleich etwa 10 mm, und/oder größer oder gleich 5 mm.

5

Infolge der gegenüber dem CO₂-Laser verringerten Wellenlänge kann wie bereits erwähnt ein geringerer Fokussierdurchmesser erzielt werden. Dies bedingt, dass auch eine Aperturgröße der Strahlungszufuhreinrichtung geringer gewählt werden kann. Dies wiederum bedingt, dass die Abmessungen der optischen Elemente, beispielsweise der Drehspiegel in einer Strahlableitvorrichtung, kleiner sein können. Für eine Strahlableitvorrichtung bedeutet dies konkret, dass in Folge der geringeren Abmessung der Drehspiegel auch deren träge Masse geringer ist, woraus eine höhere Beschleunigung bei Drehbewegungen resultiert. Bei Bewegungsänderungen bei der Bewegung eines zum Verfestigen verwendeten Laserstrahls über das Aufbaumaterial bedingt die in der Realität infolge der trägen Masse der Drehspiegel vorhandene endliche Beschleunigungszeit einen als Schleppverzug (manchmal auch Schleppfehler) bezeichneten Versatz zwischen der aktuellen Position des Strahls auf dem Baumaterial und der intendierten Position. Insbesondere kommt dieses Verhalten am Beginn und am Ende von Abtastlinien bzw. Hatchlinien zum Tragen. Durch die höhere Beschleunigung der Drehspiegel bei Drehbewegungen infolge der geringeren trägen Masse kann der Schleppverzug in vorteilhafter Weise geringer gehalten werden. Da darüber hinaus auch Schaltvorgänge für die Laserstrahlung rasch vonstatten gehen können, kann ebenfalls die Anpassung der einzutragenden Laserleistung pro Flächeneinheit an den Schleppverzug auf präzisere Weise stattfinden. Insbesondere erhöht sich die Abbildungsgenauigkeit (Gestalttreue) für eine vorgegebene Abtastgeschwindigkeit. Gerade bei additiven Herstellvorrichtungen kann daher der erfindungsgemäße Aufbau mit der beschriebenen Laserleistungsmodifikationsvorrichtung von Vorteil sein. Bei Anwendungen, bei denen das Werkstück bewegt wird, z.B. beim Laserschneiden oder beim Löcherbohren mittels Laserstrahlung, weist der Werkstückträger mitsamt Werkstück eine so große Masse auf, dass sich nicht ähnlich hohe Beschleunigungen wie bei der Verwendung einer Galvanometerscanner-basierten Ablenkeinrichtung erzielen lassen

10
15
20
25
30

Vorzugsweise weist die additive Herstellvorrichtung eine Fokussiereinrichtung auf, welche geeignet ist, einen Fokusdurchmesser von kleiner oder gleich 500 μm , bevorzugter kleiner oder gleich 300 μm , weiter bevorzugt kleiner oder gleich 250 μm und/oder größer oder gleich 80 μm , bevorzugter größer oder gleich 100 μm , noch bevorzugter größer oder gleich als 150 μm auf der Oberfläche einer Aufbaumaterialschicht zu erzeugen.

Bei einem additiven Herstellverfahren unter Verwendung solch einer additiven Herstellvorrichtung wird infolge des kleinen Fokusdurchmessers eine hohe Auflösung von geometrischen Details der hergestellten Objekte erzielt. Bei Verwendung einer Ablenk- und/oder Fokussiereinrichtung mit geringer Aperturgröße wird insbesondere trotz auftretendem Schleppverzug eine hohe Detailgenauigkeit erreicht. Geht man von einem gaussförmigen Strahlprofil aus, so kann ein Fokusdurchmesser als mittlerer oder maximaler Durchmesser jenes Bereichs definiert werden, innerhalb dessen die Strahlleistung oberhalb dem Strahlleistungsmaximum dividiert durch e^2 liegt, wobei e die Eulersche Zahl ist.

Weiter bevorzugt ist bei der additiven Herstellvorrichtung die Ablenkeinrichtung geeignet, den Laserstrahlfokus mit einer Geschwindigkeit über die Oberfläche des Aufbaumaterials zu bewegen, die größer oder gleich 2 m/s und/oder kleiner oder gleich 50 m/s, bevorzugt größer oder gleich 5 m/s und/oder kleiner oder gleich 30 m/s, noch bevorzugter größer oder gleich 8 m/s und/oder kleiner oder gleich 25 m/s ist.

Bei einem erfindungsgemäßen additiven Herstellverfahren unter Verwendung solch einer additiven Herstellvorrichtung wird infolge einer kleinen Aperturgröße bzw. charakteristischen Abmessung der Ablenk- und/oder Fokussiereinrichtung der Auftreffbereich der Laserstrahlung auf dem Aufbaumaterial mit im Vergleich zum Stand der Technik hoher Geschwindigkeit bewegt. Dennoch wird infolge der Wellenlänge der Strahlung hinreichend Energie eingetragen, um eine Verfestigung des Aufbaumaterials bewirken zu können. Damit werden Objekte innerhalb eines im Vergleich zum Stand der Technik kürzeren Zeitraums hergestellt, ohne Einbußen bei der Qualität, insbesondere der Detailauflösung in Kauf nehmen zu müssen. Bei den spezifizierten Werten für die Geschwindigkeit wurde angenommen, dass der Abstand zwischen der

Ablenkeinrichtung bzw. dem Drehspiegel und der Oberfläche der selektiv zu verfestigenden Aufbaumaterialschicht ca. 50 cm beträgt.

Vorzugsweise kann bei der additiven Herstellvorrichtung der Laserstrahlfokus in zueinander parallelen Hatchlinien mit einem gegenseitigen Abstand von weniger als 0,18 mm, bevorzugt weniger als 0,16 mm, noch bevorzugter weniger als 0,14 mm und/oder mehr als 0,05 mm über die Oberfläche des Aufbaumaterials bewegt werden und/oder ein beam offset von weniger als 0,18 mm, bevorzugt weniger als 0,16 mm, noch bevorzugter weniger als 0,14 mm eingestellt werden.

Bei einem additiven Herstellverfahren unter Verwendung solch einer additiven Herstellvorrichtung wird infolge der Verwendung von Laserstrahlung mit einer geringeren Wellenlänge es im Vergleich zur Verwendung eines CO₂-Lasers ein kleinerer Durchmesser des Auftreffbereichs der Laserstrahlung auf der Aufbaumaterialschicht erzielt. Infolgedessen werden auch beim Abtasten des Aufbaumaterials mittels Bewegens des Laserstrahls entlang von zueinander parallelen Abtastlinien (Hatchlinien) die gegenseitigen Abstände der Hatchlinien geringer gewählt. Hierdurch findet eine homogenere Verfestigung statt, so dass Bauteile höherer Qualität erhalten werden. Der Begriff "beam offset" ist ein auf dem Gebiet der additiven Fertigung üblicher englischsprachiger Begriff, der den eingestellten Strahlversatz an der Kontur eines Objektquerschnitts angibt. Mittels dieses Strahlversatzes, in der Regel senkrecht zur Kontur, wird erreicht, dass beim Abtasten der Kontur trotz eines endlichen Durchmessers des Strahlungsauftreffbereichs auf dem Aufbaumaterial die in den Modelldaten des herzustellenden Objekts spezifizierte Außenabmessung so exakt wie möglich am hergestellten Objekt realisiert wird.

Bei einem erfindungsgemäßen additiven Herstellverfahren zur Herstellung eines dreidimensionalen Objekts wird ein Baumaterial Schicht auf Schicht aufgetragen und mittels einer Energieeintragseinrichtung, die einen Kohlenmonoxidlaser und eine Strahlungszufuhreinrichtung aufweist, Laserstrahlung des Kohlenmonoxidlasers mittels der Strahlungszufuhreinrichtung Stellen in jeder Schicht, die dem Querschnitt des Objekts in dieser Schicht zugeordnet sind, zugeführt. Weiterhin wird mittels einer La-

serleistungsmodifikationsvorrichtung bei einer Erhöhung der Laserleistung ein Anstieg der auf das Aufbaumaterial auftreffenden Leistung pro Flächeneinheit innerhalb eines Zeitraums, der geringer als 300 μ s und/oder größer als 50 ns ist, bewirkt und/oder bei einer Reduzierung der Laserleistung ein Abfall der auf das Aufbaumaterial auftreffenden Leistung pro Flächeneinheit innerhalb eines Zeitraums, der geringer als 300 μ s und/oder größer als 50 ns ist, bewirkt.

Durch das erfindungsgemäße additive Herstellverfahren werden die gleichen Vorteile erzielt, die sich durch Verwenden der erfindungsgemäßen additiven Herstellvorrichtung ergeben.

Bevorzugt ist bei dem erfindungsgemäßen additiven Herstellverfahren das Aufbaumaterial im Wesentlichen absorberfrei. Der Begriff "absorberfrei" drückt dabei aus, dass im Wesentlichen keine zur Erhöhung der Absorption der Laserstrahlung geeigneten Materialien dem Aufbaumaterial hinzugefügt sind. Insbesondere wird auf die gezielte Verwendung von Hilfsstoffen zur Erhöhung der Absorption der Laserstrahlung komplett verzichtet. Dies bezieht sich zum einen darauf, dass das Aufbaumaterial nicht mit Absorberadditiven vermischt wird, zum anderen wird auch kein Absorber auf eine Aufbaumaterialschicht vor deren Verfestigung aufgetragen. Wie bereits erwähnt, ist ein additiver Herstellvorgang einfacher, wenn auf den Einsatz von Absorber-Hilfsstoffen verzichtet wird. Zudem unterliegt man weniger Beschränkungen bei der Farbe der Objekte, da insbesondere helle Objekte problemlos erhältlich sind.

Das erfindungsgemäße additive Herstellverfahrens und die erfindungsgemäße additive Herstellvorrichtung bringen bei allen additiven Herstellvorgängen Vorteile, bei denen ein Aufbaumaterial verwendet wird, welches die Strahlung des Kohlenmonoxidlasers gut absorbiert. Bevorzugt enthält aber das Aufbaumaterial ein Polymer, vorzugsweise in Form eines Polymerpulvers, und/oder ummantelten Sand und/oder einen keramischen Werkstoff, vorzugsweise in Form eines Keramikpulvers. Es hat sich gezeigt, dass Polymere, insbesondere PA11 und PA12, die Strahlung eines Kohlenmonoxidlasers in hohem Maße absorbieren. Den Erfindern sind keine bisherigen Ver-

wendungen eines Kohlenmonoxidlasers zum Aufschmelzen von Polymeren, insbesondere auf dem Gebiet der additiven Fertigung, bekannt.

Weiter bevorzugt umfasst das Aufbaumaterial ein polymerhaltiges Material und enthält insbesondere ein Polyamid, Polypropylen (PP), Polyetherimid, Polycarbonat, Polyphenylsulfon, Polyphenyloxid, Polyethersulfon, Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat, Polyacrylat, Polyester, Polyurethane, Polyimid, Polyamidimid, Polyolefin, Polystyrol, Polyphenylsulfid, Polyvinylidenfluorid, Polyamidelastomer, Polyetheretherketon (PEEK) oder Polyaryletherketon (PAEK).

Das pulverförmige Aufbaumaterial kann beispielsweise mindestens eines der Polymere, das aus der aus folgenden Polymeren gebildeten Gruppe ausgewählt ist, enthalten: Polyetherimide, Polycarbonate, Polyphenylsulfone, Polyphenyloxide, Polyethersulfone, Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisate, Polyacrylate, Polyester, Polyamide, Polyaryletherketone, Polyether, Polyurethane, Polyimide, Polyamidimide, Polyolefine, Polystyrole, Polyphenylsulfide, Polyvinylidenfluoride, Polyamidelastomere wie Polyetherblockamide sowie Copolymere, welche mindestens zwei verschiedene Monomereinheiten der vorgenannten Polymere enthalten. Geeignete Polyesterpolymere oder Copolymere können aus der aus Polyalkylenterephthalaten (z.B. PET, PBT) und deren Copolymeren bestehenden Gruppe ausgewählt werden. Geeignete Polyolefinpolymere oder Copolymere können aus der aus Polyethylen und Polypropylen bestehenden Gruppe ausgewählt werden. Geeignete Polystyrolpolymere oder Copolymere können aus der aus syndiotaktischen und isotaktischen Polystyrolen bestehenden Gruppe ausgewählt werden. Das pulverförmige Aufbaumaterial kann zusätzlich oder alternativ mindestens ein Polyblend auf der Basis von mindestens zwei der vorgenannten Polymere und Copolymere enthalten. Dabei können mit dem Kunststoff als Matrix auch noch Zusatzstoffe, z.B. Rieselhilfen, Füllstoffe, Pigmente, etc. vorhanden sein, bevorzugt aber keine Absorberadditive.

Weiter bevorzugt weist ein im Auftreffbereich der Laserstrahlung auf die Aufbaumaterialschicht verfestigter Bereich eine Abmessung in der Schichtebene von weniger als

etwa 300 μm , vorzugsweise weniger als etwa 250 μm , besonders bevorzugt weniger als etwa 200 μm , auf.

5 Infolge der Verwendung von Laserstrahlung mit einer geringeren Wellenlänge ist es im Vergleich zur Verwendung eines CO_2 -Lasers bei gleicher Aperturgröße möglich, einen kleineren Durchmesser des Auftreffbereichs der Laserstrahlung auf der Aufbaumaterialschicht zu erzielen. Als Folge hiervon können Details mit kleineren Abmessungen mittels additiver Fertigung realisiert werden als es bei Verwendung eines CO_2 -Lasers der Fall wäre.

10 Vorzugsweise werden die Schichten des Aufbaumaterials mit einer Dicke von weniger als 80 μm , bevorzugt weniger als 60 μm , noch bevorzugter weniger als 50 μm und/oder einer Dicke von 10 μm oder mehr, bevorzugter 25 μm oder mehr, aufgetragen.

15 Als Folge der Verwendung von Laserstrahlung mit einer geringeren Wellenlänge kann bei der Ablenk- und/oder Fokussiereinrichtung eine kleinere Aperturgröße bzw. charakteristische Abmessung als beim Stand der Technik verwendet werden. Insbesondere infolge der geringeren Größe und daraus resultierend Masse von als Ablenkeinrichtung verwendeten Galvanometerspiegeln lässt sich daher der Auftreffbereich der Laserstrahlung auf dem Aufbaumaterial mit im Vergleich zum Stand der Technik höherer Geschwindigkeit bewegen. Damit können Objekte innerhalb eines im Vergleich zum Stand der Technik kürzeren Zeitraums hergestellt werden. Dies macht man sich zunutze, um Objekte mit einer besseren Auflösung von Details senkrecht zu den Aufbaumaterialschichten zu erhalten. Hierzu werden Aufbaumaterialschichten einer geringeren Dicke aufgetragen bzw. verfestigt. Obwohl sich dadurch die Gesamtzahl der zur Herstellung des Objekts aufzutragenden und zu verfestigenden Aufbaumaterialschichten erhöht, bleibt die Herstelldauer infolge der höheren Verfahrensgeschwindigkeit des Strahlungsauftrittsbereichs im Rahmen.

30 Ein Formkörper, der durch ein erfindungsgemäßes additives Herstellverfahren aus einem Aufbaumaterial, das im Wesentlichen absorberfrei, insbesondere rußfrei, ist,

hergestellt wurde, weist mindestens eine Detailabmessung, insbesondere eine Wanddicke, auf, die kleiner oder gleich 150 μm ist und/oder größer oder gleich 50 μm , bevorzugt größer oder gleich 100 μm ist.

- 5 Ein nach einem erfindungsgemäßen additiven Herstellverfahren hergestellter Formkörper kann Details einer geringen Abmessung aufweisen, obwohl für die Herstellung auf den Einsatz von Absorberadditiven verzichtet wurde.

Vorzugsweise weist der Formkörper, insbesondere aus Polyamid, Polypropylen (PP),
10 Polyetherimid, Polycarbonat, Polyphenylsulfon, Polyphenyloxid, Polyethersulfon, Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat, Polyacrylat, Polyester, Polyurethane, Polyimid, Polyamidimid, Polyolefin, Polystyrol, Polyphenylsulfid, Polyvinylidenfluorid, Polyamidelastomer, Polyetheretherketon (PEEK) oder Polyaryletherketon (PAEK), weniger als 0,01 Gew.-% Absorbermaterial auf.

15

Wie bereits weiter oben erwähnt, lassen sich mit dem erfindungsgemäßen additiven Herstellverfahren insbesondere Formkörper aus einem kunststoffhaltigen Material erzielen. Der Verzicht auf Absorberadditive ist auch an den hergestellten Formkörpern selbst erkennbar, welche beispielsweise frei von Ruß sind und daher ohne Aufwand
20 für nachträgliche Einfärbung in hellerer Farbe erhalten werden können.

Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der beigefügten Zeichnungen.

25 Fig. 1 zeigt eine schematische, teilweise im Schnitt dargestellte Ansicht einer beispielhaften Vorrichtung zum additiven Herstellen eines dreidimensionalen Objekts gemäß der Erfindung.

Fig. 2 dient der schematischen Veranschaulichung der Verwendungsweise eines als Laserleistungsmodifikationsvorrichtung eingesetzten akustooptischen Modulators im Rahmen der vorliegenden Erfindung.
30

Zum Aufbauen eines Objekts 2 enthält eine als Beispiel einer additiven Herstellvorrichtung gezeigte Lasersinter- oder Laserschmelzvorrichtung 1 eine Prozesskammer oder Baukammer 3 mit einer Kammerwandung 4. In der Prozesskammer 3 ist ein nach oben offener Baubehälter 5 mit einer Behälterwandung 6 angeordnet. Durch die obere Öffnung des Baubehälters 5 ist eine Arbeitsebene 7 definiert, wobei der innerhalb der Öffnung liegende Bereich der Arbeitsebene 7, der zum Aufbau des Objekts 2 verwendet werden kann, als Baufeld 8 bezeichnet wird.

In dem Baubehälter 5 ist ein in einer vertikalen Richtung V bewegbarer Träger 10 angeordnet, an dem eine Grundplatte 11 angebracht ist, die den Behälter 5 nach unten abschließt und damit dessen Boden bildet. Die Grundplatte 11 kann eine getrennt von dem Träger 10 gebildete Platte sein, die an dem Träger 10 befestigt ist, oder sie kann integral mit dem Träger 10 ausgebildet sein. Je nach verwendetem Pulver und Prozess kann auf der Grundplatte 11 noch eine Bauplattform 12 als Bauunterlage angebracht sein, auf der das Objekt 2 aufgebaut wird. Das Objekt 2 kann aber auch auf der Grundplatte 11 selber aufgebaut werden, die dann als Bauunterlage dient. In Fig. 1 ist das in dem Behälter 5 auf der Bauplattform 12 zu bildende Objekt 2 unterhalb der Arbeitsebene 7 in einem Zwischenzustand dargestellt mit mehreren verfestigten Schichten, umgeben von unverfestigt gebliebenem Aufbaumaterial 13.

Die Lasersinter- oder -schmelzvorrichtung 1 enthält weiterhin einen Vorratsbehälter 14 für ein Aufbaumaterial 15, in diesem Beispiel ein durch elektromagnetische Strahlung verfestigbares Pulver, und einen in einer horizontalen Richtung H bewegbaren Beschichter 16 als Materialauftragsvorrichtung zum schichtweisen Aufbringen des Aufbaumaterials 15 innerhalb des Baufelds 8. Optional kann in der Prozesskammer 3 eine Heizvorrichtung, z.B. eine Strahlungsheizung 17, angeordnet sein, die zum Beheizen des aufgetragenen Aufbaumaterials dient. Als Strahlungsheizung 17 kann beispielsweise ein Infrarotstrahler vorgesehen sein.

Die beispielhafte additive Herstellvorrichtung 1 enthält ferner eine Energieeintragseinrichtung 20 mit einem Kohlenmonoxidlaser 21, der einen Laserstrahl 22 erzeugt, welcher über eine Umlenkvorrichtung 23 umgelenkt wird und durch eine Fokussiervorrich-

akustooptischen Modulators 27 wird somit im Wesentlichen der der Umlenkvorrichtung 23 zugeführte Strahl abgeschaltet und angeschaltet. Die bei einer Abschaltung in der nullten Ordnung noch vorhandene Restleistung liegt im Bereich von wenigen Prozent und ist tolerierbar, da sie im Regelfall keine unbeabsichtigte Verfestigung von
5 Aufbaumaterial bewirken kann. Das Vorhandensein von Restlicht der zur Verfestigung verwendeten Strahlungsquelle ist im Stand der Technik bekannt und wird dort als "bleeding" bezeichnet.

Die Lasersintervorrichtung 1 enthält weiterhin eine Steuereinrichtung 29, über die die
10 einzelnen Bestandteile der Vorrichtung 1 in koordinierter Weise zum Durchführen des Bauprozesses gesteuert werden. Alternativ kann die Steuereinrichtung auch teilweise oder ganz außerhalb der additiven Herstellvorrichtung angebracht sein. Die Steuereinrichtung kann eine CPU enthalten, deren Betrieb durch ein Computerprogramm (Software) gesteuert wird. Das Computerprogramm kann getrennt von der additiven Herstellvorrichtung in einer Speichervorrichtung gespeichert sein, von wo aus es (z.B.
15 über ein Netzwerk) in die additive Herstellvorrichtung, insbesondere in die Steuereinrichtung, geladen werden kann.

Im Betrieb wird durch die Steuereinrichtung 29 der Träger 10 Schicht für Schicht abgesenkt, der Beschichter 16 zum Auftrag einer neuen Pulverschicht angesteuert und
20 die Laserleistungsmodifikationsvorrichtung 27, die Umlenkvorrichtung 23 und gegebenenfalls auch der Laser 21 und/oder die Fokussiervorrichtung 24 angesteuert zum Verfestigen der jeweiligen Schicht an den dem jeweiligen Objekt entsprechenden Stellen mittels des Lasers durch Abtasten dieser Stellen mit dem Laser.

25 In der soeben beispielhaft beschriebenen additiven Herstellvorrichtung geht ein Herstellvorgang so vonstatten, dass die Steuereinheit 29 einen Steuerdatensatz abarbeitet.

30 Durch den Steuerdatensatz wird einer Energieeintragseinrichtung, im Falle der obigen Lasersinter- oder Laserschmelzvorrichtung speziell der Umlenkvorrichtung 23, für je-

den Zeitpunkt während des Verfestigungsvorgangs vorgegeben, auf welche Stelle der Arbeitsebene 7 Strahlung zu richten ist.

Wie weiter oben erwähnt, kann anstelle des akustooptischen Modulators auch eine
5 andere optische Vorrichtung als Laserleistungsmodifikationsvorrichtung verwendet
werden, sofern sie in der Lage ist, innerhalb eines kurzen Zeitraums die dem Aufbau-
material zugeführte Laserleistung, also insbesondere die pro Flächeneinheit auf das
Aufbaumaterial auftreffende Leistung, abzuändern. Beispielsweise könnten auch ein
entsprechend rasch ansteuerbarer photoelastischer Modulator (PEM) oder eine adä-
10 quate Verzögerungsplatte (z.B. $\lambda/2$ -Plättchen) zusammen mit einem Polarisator ver-
wendet werden.

Patentansprüche

1. Additive Herstellvorrichtung zur Herstellung eines dreidimensionalen Objekts
5 mit:
einer Schichtauftragsvorrichtung (16) zum Auftragen eines Aufbaumaterials
Schicht auf Schicht,
einer Energieeintragseinrichtung (20), welche
einen Kohlenmonoxidlaser (21) und
10 eine Strahlungszufuhreinrichtung zum Zuführen von Laserstrahlung des
Kohlenmonoxidlasers zu Stellen in jeder Schicht, die dem Querschnitt des Objekts in
dieser Schicht zugeordnet sind, aufweist,
und
einer Laserleistungsmodifikationsvorrichtung (27), welche geeignet ist, bei einer
15 Erhöhung der Laserleistung einen Anstieg der auf das Aufbaumaterial auftreffenden
Leistung pro Flächeneinheit innerhalb eines Zeitraums zu bewirken, der geringer als
300 μ s und/oder größer als 50 ns ist, und/oder bei einer Reduzierung der Laserleis-
tung einen Abfall der auf das Aufbaumaterial auftreffenden Leistung pro Flächenein-
heit innerhalb eines Zeitraums zu bewirken, der geringer als 100 μ s und/oder größer
20 als 100 ns ist.
2. Additive Herstellvorrichtung nach Anspruch 1, wobei es sich bei der Laserleis-
tungsmodifikationsvorrichtung (27) um einen akustooptischen oder elektrooptischen
25 Modulator handelt.
3. Additive Herstellvorrichtung nach Anspruch 2, bei der die die Laserleistungs-
modifikationsvorrichtung (27) in nullter Ordnung durchdringende Laserstrahlung den
Stellen in jeder Schicht, die dem Querschnitt des Objekts in dieser Schicht zugeordnet
sind, zur Verfestigung des Aufbaumaterials zugeführt wird.
30
4. Additive Herstellvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei
die Strahlungszufuhreinrichtung eine Ablenkeinrichtung (23) aufweist, die geeignet ist,

Laserstrahlung des Kohlenmonoxidlasers (21) zu Stellen in jeder Schicht, die dem Querschnitt des Objekts in dieser Schicht zugeordnet sind, zu lenken und/oder eine Fokussiereinrichtung (24, 25), die geeignet ist, Laserstrahlung des Kohlenmonoxidlasers auf die Oberfläche einer Aufbaumaterialschicht zu fokussieren,

5 wobei eine charakteristische Abmessung, insbesondere eine Aperturgröße, der Ablenk- und/oder Fokussiereinrichtung, geringer oder gleich etwa 50 mm, vorzugsweise geringer oder gleich etwa 20 mm, besonders bevorzugt geringer oder gleich etwa 10 mm, und/oder größer oder gleich 5 mm ist.

10 5. Additive Herstellvorrichtung nach Anspruch 4, die eine Fokussiereinrichtung aufweist, welche geeignet ist, einen Fokusedurchmesser von kleiner oder gleich 500 μm , bevorzugt kleiner oder gleich 300 μm , weiter bevorzugt kleiner oder gleich 250 μm und/oder größer oder gleich 80 μm , bevorzugt größer oder gleich 100 μm , noch bevorzugt größer oder gleich als 150 μm auf der Oberfläche einer Aufbaumaterialschicht zu erzeugen.

6. Additive Herstellvorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, bei der die Ablenkeinrichtung geeignet ist, den Laserstrahlfokus mit einer Geschwindigkeit über die Oberfläche des Aufbaumaterials zu bewegen, die größer oder gleich 2 m/s und/oder kleiner oder
20 gleich 50 m/s, bevorzugt größer oder gleich 5 m/s und/oder kleiner oder gleich 30 m/s, noch bevorzugt größer oder gleich 8 m/s und/oder kleiner oder gleich 25 m/s ist.

7. Additive Herstellvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der der Laserstrahlfokus in zueinander parallelen Hatchlinien mit einem gegenseitigen
25 Abstand von weniger als 0,18 mm, bevorzugt weniger als 0,16 mm, noch bevorzugt weniger als 0,14 mm und/oder mehr als 0,05 mm über die Oberfläche des Aufbaumaterials bewegt werden kann und/oder ein beam offset von weniger als 0,18 mm, bevorzugt weniger als 0,16 mm, noch bevorzugt weniger als 0,14 mm eingestellt werden kann.

30

8. Additives Herstellverfahren zur Herstellung eines dreidimensionalen Objekts, bei dem

ein Baumaterial Schicht auf Schicht aufgetragen wird und
mittels einer Energieeintragungseinrichtung (20), die einen Kohlenmonoxidlaser
(21) und eine Strahlungszufuhreinrichtung aufweist, Laserstrahlung des Kohlenmono-
oxidlasers mittels der Strahlungszufuhreinrichtung Stellen in jeder Schicht, die dem
5 Querschnitt des Objekts in dieser Schicht zugeordnet sind, zugeführt wird,
und

mittels einer Laserleistungsmodifikationsvorrichtung (27) bei einer Erhöhung
der Laserleistung ein Anstieg der auf das Aufbaumaterial auftreffenden Leistung pro
Flächeneinheit innerhalb eines Zeitraums, der geringer als 300 μ s und/oder größer als
10 50 ns ist, bewirkt wird und/oder bei einer Reduzierung der Laserleistung ein Abfall der
auf das Aufbaumaterial auftreffenden Leistung pro Flächeneinheit innerhalb eines
Zeitraums, der geringer als 300 μ s und/oder größer als 50 ns ist, bewirkt wird.

9. Additives Herstellverfahren nach Anspruch 8, bei dem das Aufbaumaterial im
15 Wesentlichen absorberfrei ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Aufbaumate-
rial ein Polymer, vorzugsweise in Form eines Polymerpulvers, und/oder ummantelten
Sand und/oder einen keramischen Werkstoff, vorzugsweise in Form eines Keramik-
20 pulvers, enthält.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Aufbaumate-
rial ein polymerhaltiges Material umfasst und insbesondere ein Polyamid, Polypropy-
len (PP), Polyetherimid, Polycarbonat, Polyphenylsulfon, Polyphenyloxid, Po-
25 lyethersulfon, Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat, Polyacrylat, Polyester, Po-
lyurethane, Polyimid, Polyamidimid, Polyolefin, Polystyrol, Polyphenylsulfid, Polyviny-
lidenfluorid, Polyamidelastomer, Polyetheretherketon (PEEK) oder Polyaryletherketon
(PAEK) enthält.

30 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein im Auftreffbe-
reich der Laserstrahlung auf die Aufbaumaterialschicht verfestigter Bereich eine Ab-

messung in der Schichtebene von weniger als etwa 300 μm , vorzugsweise weniger als etwa 250 μm , besonders bevorzugt weniger als etwa 200 μm , aufweist.

5 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Schichten des Aufbaumaterials mit einer Dicke von weniger als 80 μm , bevorzugt weniger als 60 μm , noch bevorzugter weniger als 50 μm und/oder einer Dicke von 10 μm oder mehr, bevorzugter 25 μm oder mehr, aufgetragen werden.

10 14. Formkörper, hergestellt durch eines der Verfahren nach den Ansprüchen 8 bis 13 aus einem Aufbaumaterial, das im Wesentlichen absorberfrei, insbesondere rußfrei, ist, wobei mindestens eine Detailabmessung, insbesondere eine Wanddicke, kleiner oder gleich 150 μm ist und/oder größer oder gleich 50 μm , bevorzugt größer oder gleich 100 μm ist.

15 15. Formkörper nach Anspruch 14, insbesondere aus Polyamid, Polypropylen (PP), Polyetherimid, Polycarbonat, Polyphenylsulfon, Polyphenyloxid, Polyethersulfon, Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat, Polyacrylat, Polyester, Polyurethane, Polyimid, Polyamidimid, Polyolefin, Polystyrol, Polyphenylsulfid, Polyvinylidenfluorid, Polyamidelastomer, Polyetheretherketon (PEEK) oder Polyaryletherketon (PAEK), der weniger
20 ger als 0,01 Gew.-% Absorbermaterial aufweist.

Fig. 1

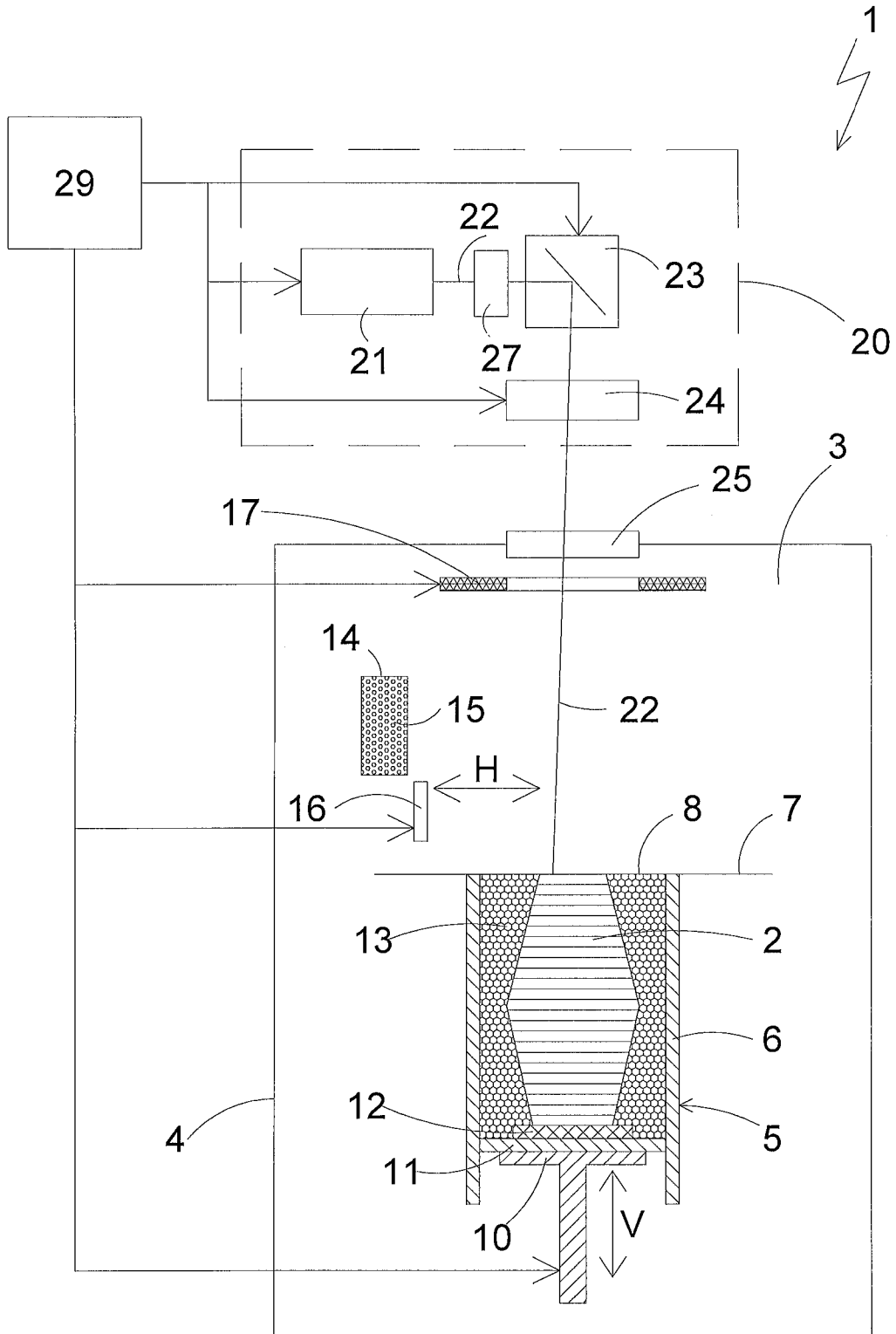
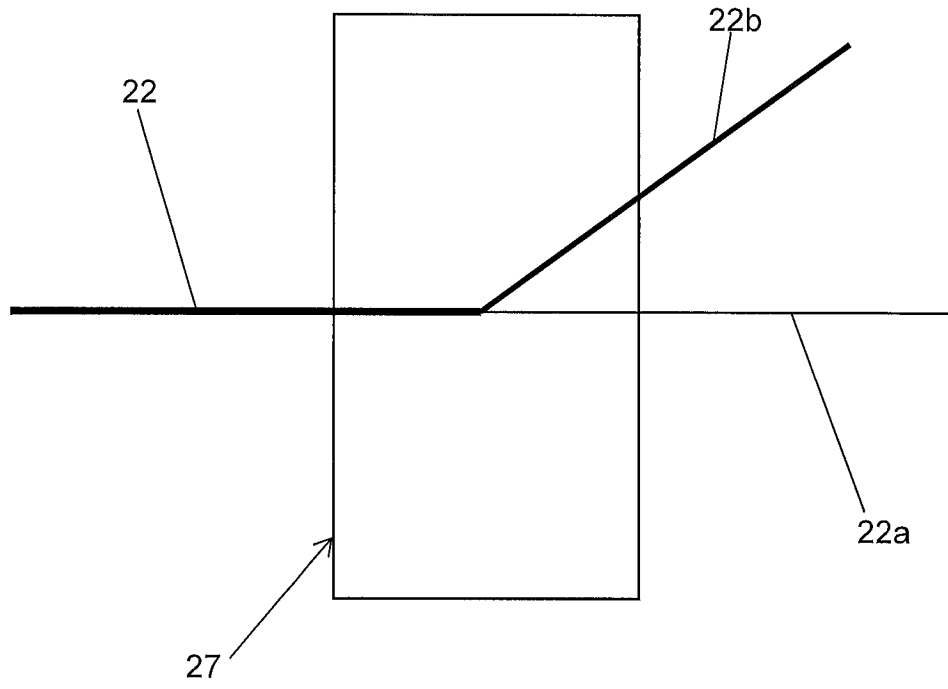


Fig. 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/071731

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B29C 64/153</i> (2017.01)i; <i>B29C 64/268</i> (2017.01)i; <i>B29C 64/273</i> (2017.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B29C; B33Y Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6215095 B1 (PARTANEN JOUNI P [US] ET AL) 10 April 2001 (2001-04-10) column 7, line 43 - line 48	2,3
Y	WO 2017153187 A1 (EOS GMBH ELECTRO OPTICAL SYSTEMS [DE]) 14 September 2017 (2017-09-14) page 16, line 28 - page 18, line 23; figure 1	1-15
Y	US 2018193955 A1 (KARP JASON HARRIS [US] ET AL) 12 July 2018 (2018-07-12) paragraph [0051]; figure 1	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 17 December 2019		Date of mailing of the international search report 07 January 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Delval, Stéphane Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/071731

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	6215095	B1	10 April 2001	AU	6978398	A	24 November 1998
				DE	69806476	T2	06 March 2003
				EP	0979163	A1	16 February 2000
				JP	3980655	B2	26 September 2007
				JP	2001524040	A	27 November 2001
				JP	2007118612	A	17 May 2007
				US	6001297	A	14 December 1999
				US	6215095	B1	10 April 2001
				WO	9848997	A1	05 November 1998
				<hr/>			
WO	2017153187	A1	14 September 2017	DE	102016203955	A1	14 September 2017
				US	2019091935	A1	28 March 2019
				WO	2017153187	A1	14 September 2017
<hr/>							
US	2018193955	A1	12 July 2018	CN	108284225	A	17 July 2018
				EP	3345698	A1	11 July 2018
				JP	2018130763	A	23 August 2018
				US	2018193955	A1	12 July 2018
				ZA	201708679	B	28 November 2018
<hr/>							

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/071731

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B29C64/153 B29C64/268 B29C64/273
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B29C B33Y

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 6 215 095 B1 (PARTANEN JOUNI P [US] ET AL) 10. April 2001 (2001-04-10) Spalte 7, Zeile 43 - Zeile 48 -----	2,3
Y	WO 2017/153187 A1 (EOS GMBH ELECTRO OPTICAL SYSTEMS [DE]) 14. September 2017 (2017-09-14) Seite 16, Zeile 28 - Seite 18, Zeile 23; Abbildung 1 -----	1-15
Y	US 2018/193955 A1 (KARP JASON HARRIS [US] ET AL) 12. Juli 2018 (2018-07-12) Absatz [0051]; Abbildung 1 -----	1-15

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
17. Dezember 2019	07/01/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Delval, Stéphane
--	---

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/071731

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6215095	B1	10-04-2001	AU 6978398 A 24-11-1998
			DE 69806476 T2 06-03-2003
			EP 0979163 A1 16-02-2000
			JP 3980655 B2 26-09-2007
			JP 2001524040 A 27-11-2001
			JP 2007118612 A 17-05-2007
			US 6001297 A 14-12-1999
			US 6215095 B1 10-04-2001
			WO 9848997 A1 05-11-1998

WO 2017153187	A1	14-09-2017	DE 102016203955 A1 14-09-2017
			US 2019091935 A1 28-03-2019
			WO 2017153187 A1 14-09-2017

US 2018193955	A1	12-07-2018	CN 108284225 A 17-07-2018
			EP 3345698 A1 11-07-2018
			JP 2018130763 A 23-08-2018
			US 2018193955 A1 12-07-2018
			ZA 201708679 B 28-11-2018
