

(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
13. August 2020 (13.08.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/160726 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B22F 3/105 (2006.01) B33Y 30/00 (2015.01)
B23K 26/064 (2014.01) G02B 19/00 (2006.01)
B23K 26/342 (2014.01) G02B 26/08 (2006.01)
B29C 64/153 (2017.01) G02B 26/10 (2006.01)
B29C 64/268 (2017.01) G02B 27/09 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2020/000018

(22) Internationales Anmeldedatum:
06. Februar 2020 (06.02.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 201 474.7
06. Februar 2019 (06.02.2019) DE

(71) Anmelder: MTU AERO ENGINES AG [DE/DE]; Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).

(72) Erfinder: ROTT, Sebastian; Grillparzerstr. 7, 81675 München (DE). LADEWIG, Alexander; Finner 6, 83707 Bad Wiessee (DE). LIEBL, Christian; Ahornstr. 42, 85461 Bockhorn (DE). SCHLOTHAUER, Steffen; Sonnenstrasse 3b, 85253 Erdweg (DE). CASPER, Johannes; Linprunstrasse 33, 80335 München (DE). FRIEDBERGER, Katrin; Am Bach 3a, 85235 Odelzhausen (DE). JAKIMOV, Andreas; Birkenstr. 12B, 85777 Fahrenzhausen (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, 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,

(54) Title: DEVICE FOR THE ADDITIVE CONSTRUCTION OF A COMPONENT

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUM GENERATIVEN AUFBAUEN EINES BAUTEILS

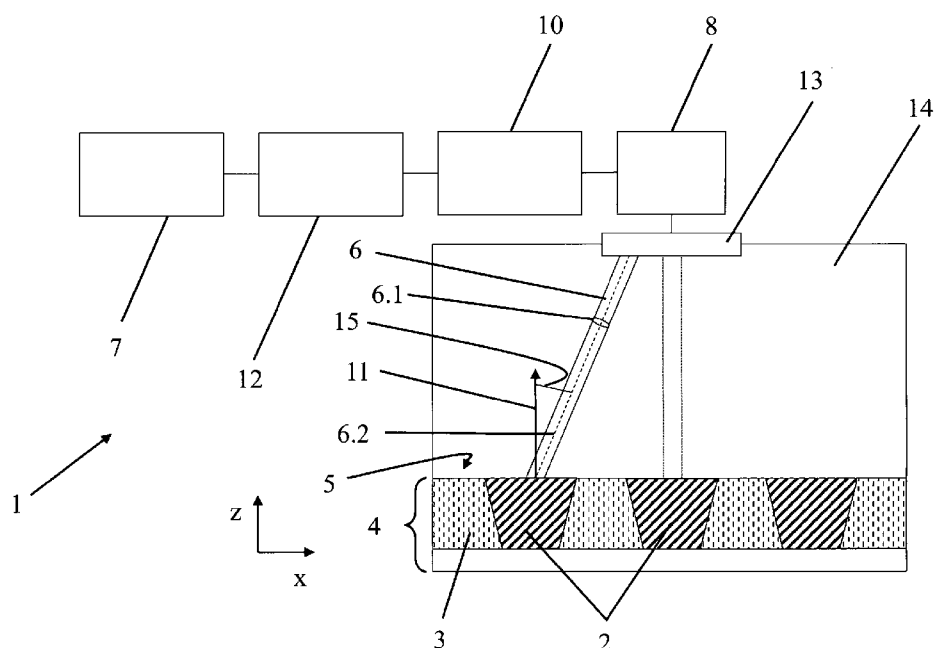


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to a device (1) for the additive construction of a component (2), comprising a material holder (4) for holding a material (3) kept in a shapeless or shape-neutral form, a beam source (7) for emitting a beam (6) in order to irradiate the material holder (4) at a construction surface (5), a tilting unit (8), by means of which the beam (6) can be moved over the construction surface (5), and a distortion optical unit (10), by means of which the beam (6) is guided upstream of the construction surface (5). The distortion optical unit (10) distorts the beam (6), in the case of oblique incidence on the construction surface (5), in such a way that a cross-sectional profile (6.1) of the beam (6) is compressed in a plane of incidence (30), which is spanned by the beam (6) and a surface normal (11) to the construction surface (5), and/or is widened in a transversal plane (31) perpendicular to the

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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

plane of incidence (30).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zum generativen Aufbauen eines Bauteils (2), mit einer Werkstoffaufnahme (4) zum Aufnehmen eines formlos oder formneutral vorgehaltenen Werkstoffs (3), einer Strahlquelle (7) zur Emission eines Strahls (6) zum Bestrahlen der Werkstoffaufnahme (4) an einer Baufläche (5), einer Verkippeinheit (8), mittels welcher der Strahl (6) über die Baufläche (5) bewegbar ist, und einer Verzerroptik (10), über welche der Strahl (6) der Baufläche (5) vorgelagert geführt ist, wobei die Verzerroptik (10) den Strahl (6) bei einem schrägen Einfall auf die Baufläche (5) solchermaßen verzerrt, dass ein Querschnittsprofil (6.1) des Strahls (6) - in einer Einfallsebene (30), die von dem Strahl (6) und einer Flächennormalen (11) auf der Baufläche (5) aufgespannt wird, gestaucht wird, und/oder - in einer zu der Einfallsebene (30) senkrechten Transversalebene (31) geweitet wird.

VORRICHTUNG ZUM GENERATIVEN AUFBAUEN EINES BAUTEILS

BESCHREIBUNG

Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum generativen Aufbauen eines Bauteils.

Stand der Technik

- 5 Generative Fertigungsverfahren erlauben nicht nur einen schnellen Aufbau von Prototypen, sondern es können bspw. auch aufgrund ihrer Geometrie anderweitig schwer herzustellende Bauteile bzw. Bauteile mit bestimmten Materialeigenschaften hergestellt werden. Der Aufbau erfolgt schichtweise, und es lassen sich auch Geometrien erzeugen, die bspw. mit einem gießtechnischen Verfahren nicht zugänglich wären.
- 10 Bei sogenannten Pulverbettverfahren wird der Werkstoff in Pulverform vorgehalten und sequenziell Schicht für Schicht aufgetragen. Nach dem Auftragen einer jeweiligen Schicht wird diese selektiv bestrahlt und so in einem gewünschten Bereich verfestigt, durch Aufschmelzen des Pulvers infolge der Bestrahlung. Anschließend wird die nächste Pulverschicht aufgetragen und gemäß der herzustellenden Bauteilgeo-
- 15 metrie bereichsweise verfestigt.

- Eine entsprechende Fertigungsverfahren weist eine Werkstoffaufnahme auf, in welcher der formlos bzw. -neutral vorgehaltene Werkstoff angeordnet wird. Zur Bestrahlung ist eine Strahlquelle vorgesehen, deren Strahl mittels einer Verkippeinheit über die Werkstoffaufnahme, also über eine Baufläche bewegt werden kann. In Verbindung mit einem selektiven Ein- und Ausschalten der Bestrahlung kann eine jeweilige Schicht an der Baufläche jeweils in einem bestimmten Bereich bestrahlt und
- 20 kann der Werkstoff damit bereichsweise verfestigt werden.

Darstellung der Erfindung

Der vorliegenden Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, eine besonders vorteilhafte Vorrichtung zum generativen Aufbauen eines Bauteils anzugeben.

Dies wird erfindungsgemäß mit der Vorrichtung gemäß Anspruch 1 gelöst. Diese weist zusätzlich zu Strahlquelle und Verkippeinheit eine Verzerroptik auf, über welche der Strahl der Baufläche vorgelagert geführt wird. Mit der Verzerroptik wird das Querschnittsprofil des Strahls bei einem schrägen Einfall auf die Baufläche verzerrt. Damit kann einer Verzerrung der Spotform entgegengewirkt werden, die sich bei einem schräg einfallenden Strahl aus Geometrie Gründen ergibt. Stellt man sich den Strahl bspw. als Zylinder vor, resultiert auf der Baufläche bei dem schrägen Einfall eine elliptische Form (schräger Zylinderschnitt). Bei einem solchen elliptischen oder generell verzerrten Spot kann die eingekoppelte Energie dann z. B. abhängig von der Scanrichtung unterschiedlich groß sein. So wird bspw. bei einer Bewegung entlang der großen Ellipsenhalbachse (longitudinal) lokal mehr Energie eingebracht als bei einer Bewegung entlang der kleinen Ellipsenhalbachse (transversal). Dieser Problematik kann mit der Verzerroptik vorgebeugt werden. Vereinfacht zusammengefasst kann der Strahl damit der Baufläche vorgelagert so verzerrt werden, dass eine Verzerrung infolge des schrägen Einfalls kompensiert wird, der resultierende Spot also verzerrungsfrei ist.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen finden sich in den abhängigen Ansprüchen und der gesamten Offenbarung, wobei in der Darstellung der Merkmale nicht immer im Einzelnen zwischen Verfahrens- und Vorrichtungsaspekten unterschieden wird; jedenfalls implizit ist die Offenbarung hinsichtlich sämtlicher Anspruchskategorien zu lesen. Wird bspw. eine bestimmte verfahrensgemäße Ausgestaltung beschrieben, ist dies auch auf eine Vorrichtung zu lesen, die zur Durchführung eines entsprechenden Verfahrens eingerichtet ist.

Im Einzelnen wird der Verzerrung des Spots bei schrägem Einfall entgegengewirkt, indem mit der Verzerroptik ein Querschnittsprofil des Strahls

- in einer Einfallsebene gestaucht wird und/oder
- in einer zu der Einfallsebene senkrechten Transversalebene geweitet wird.

Die Einfallsebene spannt der Strahl, insbesondere seine Mittenachse, gemeinsam mit einer Flächennormalen auf der Baufläche auf. Die Mittenachse liegt mittig im Strahl und durchsetzt die Baufläche dort, wo die Flächennormale ihren Fußpunkt hat (mittig im Spot). Die zur Einfallsebene senkrechte Transversalebene beinhaltet ebenfalls die Mittenachse des Strahls; in anderen Worten ergibt sich die Mittenachse des Strahls als Schnittlinie von Einfalls- und Transversalebene.

Das Querschnittsprofil des Strahls wird in einer zu dessen Mittenachse senkrechten Ebene betrachtet, und zwar der Baufläche vorgelagert (bevor der Strahl auf die Baufläche trifft). Die Angaben „vorgelagert“ und „nachgelagert“ beziehen sich generell auf die Strahlungsrichtung, also den Pfad des Strahls von der Strahlquelle zur Baufläche. Soweit auf die Ausbreitung des Strahls bzw. dessen Profil Bezug genommen wird, ist dies hinsichtlich der Vorrichtung dahingehend zu lesen, dass diese für einen Betrieb eingerichtet ist, in dem eine solche Strahlausbreitung erfolgt.

In bevorzugter Ausgestaltung hat der Strahl der Verzerroptik vorgelagert ein kreisförmiges und der Verzerroptik nachgelagert ein ellipsenförmiges Querschnittsprofil. Trifft ein solcher, ellipsenförmig verzerrter Strahl dann auf die Baufläche, ergibt dies dort einen kreisförmigen Spot. Das ellipsenförmige Querschnittsprofil kann dabei insbesondere derart orientiert sein, dass eine Schnittlinie mit der Einfallsebene die kleine Halbachse ergibt und eine Schnittlinie mit der Transversalebene die große Halbachse ergibt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die Verzerroptik adaptiv, lässt sich also die Stärke der Verzerrung einstellen. Der Strahl bzw. dessen Querschnittsprofil kann damit umso stärker verzerrt werden, je schräger er auf die Baufläche fällt, je größer also der Einfallswinkel ist. Letzterer wird zwischen der Mittenachse des Strahls und einer im Spot in die Baufläche gelegten Flächennormalen genommen. Mit der Adaption kann überall auf der Baufläche ein Spot der gleichen Form erzeugt

werden, vorzugsweise auch derselben Größe (Radius bzw. Durchmesser) und Intensitätsverteilung.

In bevorzugter Ausgestaltung ist zusätzlich eine dynamische Fokussiereinheit vorgesehen, mit welcher sich der Strahlquerschnitt ohne Verzerrung verkleinern und vergrößern lässt. Damit kann der Strahl bei unterschiedlichen Einfallswinkeln unterschiedlich stark fokussiert werden, um einer Variation der Spotgröße, die sich infolge der unterschiedlich starken Verzerrung ergeben würde, entgegenzuwirken. Fällt der Strahl also unter einem größeren Einfallswinkel auf die Baufläche und wird er mit der Verzerroptik entsprechend stärker verzerrt, kann durch eine stärkere Fokussierung im Ergebnis dieselbe Spotgröße wie bei einem kleineren Einfallswinkel erreicht werden, bei dem der Strahl mit der Verzerreinheit weniger verzerrt und auch mit der Fokussiereinheit weniger fokussiert wird. Als Fokussiereinheit kann bspw. ein (um die optische Achse rotationssymmetrisches) Linsensystem vorgesehen sein, wobei sich die unterschiedliche Fokussierung durch einen Relativversatz der Linsen erreichen lässt.

Im Allgemeinen kann es sich bei dem Strahl auch um einen Elektronenstrahl handeln, der in der Verzerroptik mit Elektronenlinsen angepasst wird. In bevorzugter Ausgestaltung ist als Strahlquelle jedoch eine Laserquelle vorgesehen, die im Betrieb einen Laserstrahl emittiert. Das Querschnittsprofil des Laserstrahls ist bevorzugt rund, die Intensitätsverteilung ist typischerweise gaußförmig. Bei der Laserquelle kann es sich bspw. um einen CO₂-Laser, Nd:YAG-Laser bzw. Yb-Faserlaser oder auch einen Diodenlaser handeln.

Prinzipiell kann die Verzerroptik auch reflektiv, also über ein Spiegelsystem realisiert sein. In bevorzugter Ausgestaltung handelt es sich um eine refraktive Optik, wird der Strahl also durch Brechung geformt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist die Verzerroptik ein erstes und ein zweites Prisma auf, die ein anamorphisches Prismenpaar bilden. Der Laserstrahl durchsetzt dieses, wobei sich auf zwei zueinander senkrechten Achsen verschieden große Abbildungsmaßstäbe ergeben (im Falle der Ellipse sind dies die kleine und die

große Halbachse). Bevorzugt sind das erste und das zweite Prisma relativ zueinander verkippbar gelagert, wobei sich durch eine Änderung der Relativverkipfung das Verhältnis der Abbildungsmaßstäbe verändern lässt. Fällt der Laserstrahl unter einem kleinen Winkel auf die Baufläche, ist nur eine geringe Differenz der Abbildungs-
5 maßstäbe zur Kompensation erforderlich, wohingegen bei einem großen Einfallswinkel eine größere Differenz eingestellt wird.

Eine Verzerrung des Laserstrahls lässt sich auch mittels Zylinderlinsen erreichen, die aufeinanderfolgend in dem Strahlengang angeordnet sind. Es können bspw. konvexe Zylinderlinsen vorgesehen sein, das Querschnittsprofil kann damit aufgeweitet werden. In der Ebene, in welcher die Zylinderachsen liegen, bleibt es hingegen unverändert. Damit ergibt sich die gewünschte Asymmetrie der Abbildung, also die Verzer-
10 rung. In einer zur besagten Zylinderachse senkrechten Schnittebene betrachtet können die Zylinderlinsen bspw. telezentrisch angeordnet sein, bevorzugt sowohl strahlquellenseitig als auch baufächenseitig.

15 In bevorzugter Ausgestaltung sind die Zylinderlinsen in der Verzerroptik relativ zueinander versetzbar gelagert, lässt sich also ihr Abstand in Strahlungsrichtung verändern. Damit kann eine adaptive Anpassung des Querschnittsprofils vorgenommen werden, also eine stärkere Verzerrung bei großen und eine geringere Verzerrung bei kleinen Einfallswinkeln. Im Einzelnen kann dazu die eine Zylinderlinse ortsfest in
20 der Verzerroptik angeordnet und nur die andere Linse versetzbar gelagert sein (es können aber auch beide Linsen versetzbar gelagert werden).

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Verzerroptik eine Blende auf, die der Laserstrahl durchsetzt. Dabei begrenzt die Blende das Querschnittsprofil des Laserstrahls auf zwei zueinander senkrechten Achsen unterschied-
25 lich stark, nämlich im Falle der bevorzugten Kreis- bzw. Ellipsenform stärker auf der kleinen Halbachse. Bildlich gesprochen wird also dort ein Teil des Strahls weggeschnitten, um das gewünschte Querschnittsprofil einzustellen. Die Blende kann insbesondere eine Feldblende sein. Bevorzugt kann eine Anordnung bzw. ein Aufbau als Raumfilter sein, kann also der Blende vorgelagert eine Sammellinse angeordnet
30 sein. Diese bündelt den Strahl. entsprechend klein kann die Blendenöffnung gewählt

werden (mit einem Durchmesser von nur einigen 10 μm auch als Pinhole bezeichnet).

In bevorzugter Ausgestaltung ist die Blende verstellbar, lässt sich also das Profil ihrer Blendenöffnung verändern. Dies betrifft nicht bzw. nicht nur die Öffnungsweite, sondern insbesondere das Öffnungsverhältnis auf zwei zueinander senkrechten Achsen. Auf der einen Achse ist die Änderung größer als auf der anderen, es können sich also bspw. Ellipsen mit unterschiedlichem Verhältnis von kleiner zu großer Halbachse einstellen lassen (bis hin zu einer Kreisform). Damit kann der unter großem Winkel einfallende Strahl stärker verzerrt werden als der unter kleinem Winkel bzw. senkrecht einfallende Strahl.

Die Verkippeinheit ist in bevorzugter Ausgestaltung ein verkipppbar gelagerter Spiegel, bspw. ein galvanometrisch gelagerter Scannerspiegel. Der verkipppbar gelagerte Spiegel ist bevorzugt oberhalb der Baufläche im Wesentlichen mittig angeordnet, sodass ein senkrecht einfallender Strahl die Baufläche mittig trifft. Entsprechend werden die Einfallswinkel zu den Rändern der Baufläche hin größer. Die Verzerroptik ist der Verkippeinheit bevorzugt vorgelagert, also insbesondere dem verkipppbar gelagerten Spiegel. Sofern in bevorzugter Ausgestaltung eine dynamische Fokussierereinheit vorgesehen ist, kann diese der Verzerroptik vorgelagert sein, also zwischen Strahlquelle und Verzerroptik.

Generell kann ein Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer vergleichsweise kompakten Anordnung von Strahlquelle, Verkippeinheit und Verzerroptik liegen. Wird die Strahlformung der Verkippeinheit vorgelagert vorgenommen, muss mit der Verkippeinheit kein großes Gewicht bewegt werden, was die Aufhängung etc. vereinfacht. Um in einer zum vorliegenden Gegenstand alternativen Weise eine über die Baufläche konstante Spotform zu erhalten, ließe sich der Strahl bspw. auch über eine telezentrische F-Theta-Linse auf die Baufläche führen. Aufgrund der Abbildung ins Unendliche würde der Strahl unabhängig von der Position immer senkrecht auf die Baufläche fallen. Eine solche Linse müsste jedoch fast so groß sein wie die Baufläche und ließe sich allenfalls unter großem Aufwand und damit kostenintensiv herstellen.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum generativen Aufbauen eines Bauteils. In der Werkstoffaufnahme ist dann ein formlos oder formneutral vorgehaltener Werkstoff angeordnet, im Allgemeinen bspw. auch eine Flüssigkeit, bevorzugt ein Pulver, insbesondere ein Metallpulver. Die Baufläche liegt an der Oberfläche des Werkstoffs (an der Oberfläche der jeweilig bearbeiteten Schicht). Zur Verfestigung eines bestimmten Bereichs wird dann der Strahl mittels der Verkippeinheit über die Baufläche bewegt, dort wird zur Verfestigung bestrahlt. Ferner wird zur Kompensation einer Verzerrung bei schrägem Einfall das Querschnittsprofil in der Einfallsebene gestaucht und/oder in der Transversalebene geweitet. Im Übrigen wird ausdrücklich auf die vorstehenden Ausführungen verwiesen, die auch im Falle des Verfahrens von Interesse sein können.

Die Erfindung betrifft auch die Verwendung einer vorliegend offenbarten Vorrichtung zum generativen Aufbauen eines Bauteils, das als Bestandteil einer axialen Strömungsmaschine ausgelegt ist, insbesondere eines Flugtriebwerks.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert, wobei die einzelnen Merkmale im Rahmen der nebengeordneten Ansprüche auch in anderer Kombination erfindungswesentlich sein können und auch weiterhin nicht im Einzelnen zwischen den unterschiedlichen Anspruchskategorien unterschieden wird.

Im Einzelnen zeigt

Figur 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung in einer schematischen, teilweise geschnittenen Seitenansicht;

Figur 2 Spotformen auf einer Baufläche der Vorrichtung gemäß Fig. 1, ohne Anpassung durch die Verzerroptik;

Figur 3 zeigt Möglichkeiten zur Anpassung des Querschnittsprofils mit der Verzerroptik;

Figur 4 zeigt eine erste Möglichkeit zur Gestaltung einer Verzerroptik;

Figur 5 zeigt eine zweite Möglichkeit zur Gestaltung einer Verzerroptik;

Figur 6 zeigt eine dritte Möglichkeit zur Gestaltung einer Verzerroptik.

Bevorzugte Ausführung der Erfindung

Figur 1 zeigt eine Vorrichtung 1 zum generativen Aufbauen eines Bauteils 2 aus einem Werkstoff 3, der pulverförmig vorgehalten wird. Der Werkstoff 3 ist in einer Werkstoffaufnahme 4 angeordnet, er wird an einer Baufläche 5 schichtweise durch Aufschmelzen des Pulvers verfestigt. Anschließend wird der bislang hergestellte Teil des Bauteils 2 abgesenkt (nicht im Einzelnen dargestellt) und wird die nächste Pulverschicht aufgetragen und an der Baufläche 5 verfestigt.

Die Verfestigung erfolgt durch Bestrahlen mit einem Strahl 6, nämlich einem Laserstrahl. Dieses Verfahren wird auch als selektives Laserstrahlschmelzen (SLM) bezeichnet. Zur Emission des Strahls 6 ist eine Strahlquelle 7 vorgesehen, vorliegend eine Laserquelle. Um den Strahl 6 auf unterschiedliche Bereiche der Baufläche 5 lenken zu können, wird er über eine Verkippeinheit 8 geführt, die vorliegend mit galvanometrisch gelagerten Scannerspiegeln ausgestattet ist. In Abhängigkeit von der Kippstellung der Spiegel gelangt der Strahl 6 auf eine entsprechende X/Y-Position der Baufläche 5. In der in Figur 1 gezeigten Situation ist er zum Rand hin ausgelenkt, punktiert ist ein zum Vergleich mittiger Einfall gezeigt (in einem anderen Zeitpunkt).

Im Folgenden wird zunächst auf **Figur 2** verwiesen, bevor Figur 1 weiter im Detail diskutiert wird. Figur 2 zeigt die Baufläche 5 in einer Aufsicht, also entgegen der Z-Richtung in Figur 1 von oben darauf blickend. Zu erkennen ist ein Spot 20 (punktiert), den der Strahl 6 bei mittigem Einfall erzeugt. Ferner ist ein Spot 21 gezeigt, den der Strahl 6 am Rand der Baufläche 5 erzeugt. Aufgrund des schrägen Einfalls dort ist der Spot 21 nicht mehr kreis-, sondern ellipsenförmig. Wird ein solcher Spot 21 über die Baufläche 5 bewegt, hängt die eingekoppelte Energie von der Scanrichtung ab, vergleiche die Beschreibungseinleitung im Detail.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, die nun wieder unter Verweis auf Figur 1 beschrieben wird, ist deshalb eine Verzerroptik 10 im Strahlengang angeordnet, mit

der ein Querschnittsprofil 6.1 des Strahls 6 verzerrt wird. Das Querschnittsprofil 6.1 wird in einem Schnitt senkrecht zur Mittenachse 6.2 des Strahls 6 betrachtet, ohne Verzerrung ist es kreisrund.

Figur 3 illustriert, wie das Querschnittsprofil 6.1 bei dem schrägen Einfall angepasst werden kann, sodass auf der Baufläche 5 trotz des schrägen Einfalls im Ergebnis ein rundes Profil resultiert. Das Querschnittsprofil 6.1 kann dafür in einer Einfallsebene 30 gestaucht (kleine Ellipse) und/oder in einer Transversalebene 31 geweitet werden (große Ellipse). Die Einfallsebene 30 wird von der Mittenachse 6.1 des Strahls 6 gemeinsam mit einer Flächennormalen 11 aufgespannt, vergleiche Figur 1. Die Transversalebene 31 liegt senkrecht dazu und beinhaltet ebenfalls die Mittenachse 6.1.

Wird das Querschnittsprofil 6.1 transversal geweitet, hat der resultierende Spot 22 (strichliert in Figur 2) einen entsprechend größeren Durchmesser. Um die Spotgröße über die Baufläche 5 konstant zu halten, weist die Vorrichtung 1 gemäß Figur 1 zusätzlich eine dynamische Fokussiereinheit 12 auf. Diese ist mit Linsen ausgestattet, deren Relativabstand in Abhängigkeit von der Auslenkung des Strahls 6 verändert wird, sodass randseitig stärker als mittig fokussiert wird.

Wie aus Figur 1 ersichtlich, gelangt die Laserstrahlung von der Strahlquelle 7 über die dynamische Fokussiereinheit 12 und die Verzerroptik 10 zu der Verkippeinheit 8. Von dort wird sie durch ein Schutzglas 13 in die Prozesskammer 14 gekoppelt. Im Folgenden werden unterschiedliche Möglichkeiten zum Aufbau der Verzerroptik 10 diskutiert.

Figur 4 zeigt eine Verzerroptik 10, die ein erstes Prisma 40 und ein zweites Prisma 41 aufweist. Die Prismen 40, 41 bilden ein anamorphisches Prismenpaar, das Querschnittsprofil 6.1 wird auf der Achse 42 geweitet, auf der Achse 43 hingegen nicht. Die Prismen 40, 41 sind verkippt gelagert, durch Änderung der Schrägstellung, also der Winkel 44, 45, lässt sich die Verzerrung (Aufweitung auf der Achse 42) verändern. Damit kann das Querschnittsprofil 6.1 in Abhängigkeit von der X/Y-Position auf der Baufläche 5 mit zunehmendem Einfallswinkel 15 zunehmend verzerrt werden.

Figur 5 zeigt eine Verzerroptik 10 mit einer ersten Zylinderlinse 50 und einer zweiten Zylinderlinse 51. Die Zylinderlinsen 50, 51 sind senkrecht zur Zeichenebene translationssymmetrisch aufgebaut. Die Anordnung der Zylinderlinsen 50, 51 ist beidseitig telezentrisch (Objekt- und Bildpunkt im Unendlichen). In der Verzerroptik 10 ist die zweite Zylinderlinse 51 versetzbar gelagert, der Abstand zur Brennebene 52 der ersten Zylinderlinse 50 ist veränderbar. Wird die zweite Zylinderlinse 51 in **Figur 5** nach links versetzt, so wird die Verzerrung geringer, das Querschnittsprofil 6.1 wird also auf der Achse 42 weniger stark geweitet. Wird die zweite Zylinderlinse 51 hingegen nach rechts versetzt, nimmt die Verzerrung zu. Damit lässt sich eine adaptive, mit zunehmendem Einfallswinkel 15 zunehmende Verzerrung erreichen.

Figur 6 zeigt eine weitere Möglichkeit zum Aufbau einer Verzerroptik 10, wobei das Querschnittsprofil 6.1 mit einer Blende 60 angepasst wird. Die Blende 60 ist mit einer elliptischen, verstellbaren Blendenöffnung 61 vorgesehen. Durch Verstellen der Blendenöffnung 61 kann das Querschnittsprofil 6.1 zwischen einer Kreisform und einer auf der Achse 42 aufgespreizten Ellipse variiert werden.

Der Blende 60 vorgelagert ist eine Sammellinse 62 vorgesehen, die Anordnung stellt einen sogenannten Raumfilter dar. Mit einer Kollimationslinse 63 wird das Strahlenbündel dem Raumfilter 60, 62 nachgelagert wieder kollimiert.

BEZUGSZEICHENLISTE

	Vorrichtung	1
	Bauteil	2
	Werkstoff	3
5	Werkstoffaufnahme	4
	Baufläche	5
	Strahl	6
	Querschnittsprofil	6.1
	Mittenachse	6.2
10	Strahlquelle	7
	Verkippeinheit	8
	Verzerroptik	10
	Flächennormale	11
	Fokussiereinheit	12
15	Schutzglas	13
	Prozesskammer	14
	Einfallswinkel	15
	Spot (mittig)	20
	Spot (am Rand)	21
20	Spot (kompensiert)	22

	Einfallebene	30
	Transversalebene	31
	Erstes Prisma	40
	Zweites Prisma	41
5	Achse	42
	Achse	43
	Winkel	44
	Winkel	45
	Erste Zylinderlinse	50
10	Zweite Zylinderlinse	51
	Brennebene	52
	Blende	60
	Blendenöffnung	61
	Sammellinse	62
15	Kollimationslinse	63

ANSPRÜCHE

1. Vorrichtung (1) zum generativen Aufbauen eines Bauteils (2), mit einer Werkstoffaufnahme (4) zum Aufnehmen eines formlos oder formneutral vorgehaltenen Werkstoffs (3),
einer Strahlquelle (7) zur Emission eines Strahls (6) zum Bestrahlen der Werkstoffaufnahme (4) an einer Baufläche (5),
einer Verkippeinheit (8), mittels welcher der Strahl (6) über die Baufläche (5) bewegbar ist, und
einer Verzerroptik (10), über welche der Strahl (6) der Baufläche (5) vorgelagert geführt ist,
wobei die Verzerroptik (10) den Strahl (6) bei einem schrägen Einfall auf die Baufläche (5) solchermaßen verzerrt, dass ein Querschnittsprofil (6.1) des Strahls (6)
 - in einer Einfallsebene (30), die von dem Strahl (6) und einer Flächennormalen (11) auf der Baufläche (5) aufgespannt wird, gestaucht wird, und/oder
 - in einer zu der Einfallsebene (30) senkrechten Transversalebene (31) geweitet wird.
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, bei welcher bei dem schrägen Einfall das Querschnittsprofil (6.1) des Strahls (6) der Verzerroptik (10) nachgelagert eine Ellipsenform hat und der Strahl (6) auf der Baufläche (5) einen kreisförmigen Spot (22) erzeugt.
3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, bei welcher die Verzerroptik (10) adaptiv ausgelegt und die Vorrichtung (1) für einen Betrieb solchermaßen eingerichtet ist, dass der Strahl (6) mit der adaptiven Verzerroptik (10) mit zunehmendem Einfallswinkel (15) zunehmend verzerrt wird.

4. Vorrichtung (1) nach Anspruch 3, welche zusätzlich eine dynamische Fokussiereinheit (12) aufweist, über welche der Strahl (6) der Baufläche (5) vorge-
lagert geführt ist, wobei die Vorrichtung (1) für einen Betrieb solchermaßen
5 eingerichtet ist, dass der Strahl (6) mit der dynamischen Fokussiereinheit (12)
bei unterschiedlichen Einfallswinkeln (15) zum Angleich der auf der Bauflä-
che (5) erzeugten Spotgrößen unterschiedlich stark fokussiert wird.
5. Vorrichtung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welcher die
Strahlquelle (7) eine Laserquelle und der Strahl (6) ein Laserstrahl ist.
- 10 6. Vorrichtung (1) nach Anspruch 5, bei welcher die Verzerroptik (10) refraktiv
ist und von dem Laserstrahl durchsetzt wird.
7. Vorrichtung (1) nach Anspruch 6, bei welcher die Verzerroptik (10) ein erstes
15 Prisma (40) und ein zweites Prisma (41) aufweist, die ein anamorphisches
Prismenpaar (40, 41) bilden, welches der Laserstrahl bei dem schrägen Ein-
fall durchsetzt.
8. Vorrichtung (1) nach den Ansprüchen 3 und 7, bei welcher das erste und
20 zweite Prisma (40, 41) in der Verzerroptik (10) relativ zueinander verkippt
gelagert sind und durch eine Änderung der Relativverkipfung das Quer-
schnittsprofil (6.1) des Laserstrahls in Abhängigkeit von dem Einfallswinkel
(15) anpassbar ist.
- 25 9. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei welcher die Verzerr-
optik (10) eine erste Zylinderlinse (50) und eine zweite Zylinderlinse (51)
aufweist, die der Laserstrahl bei dem schrägen Einfall durchsetzt.
10. Vorrichtung (1) nach den Ansprüchen 3 und 9, bei welcher die erste und die
30 zweite Zylinderlinse (50, 51) in der Verzerroptik (10) relativ zueinander ver-
setzbar gelagert sind und durch eine Änderung des Relativabstands das Quer-

schnittsprofil (6.1) des Laserstrahl in Abhängigkeit von dem Einfallswinkel (15) anpassbar ist.

11. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 10, bei welcher die Verzerr-
optik (10) eine Blende (60) aufweist, die der Laserstrahl bei dem schrägen
Einfall durchsetzt, wobei die Blende (60) das Querschnittsprofil (6.1) des La-
serstrahls auf zwei zueinander senkrechten Achsen (42, 43) unterschiedlich
stark begrenzt.
12. Vorrichtung (1) nach Anspruch 11 in Verbindung mit Anspruch 3, bei wel-
cher eine Blendenöffnung (61) der Blende (60) verstellbar ist.
13. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 6 bis 12, bei welcher die Verkip-
peinheit (8) ein verkippt gelagerter Spiegel ist, über welchen der Strahl (6)
auf die Baufläche (5) geführt wird, wobei die Verzerr-optik (10) dem Spiegel
vorgelagert angeordnet ist.
14. Verfahren zum generativen Aufbauen eines Bauteils (2) mit einer Vorrich-
tung (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem Verfahren
 - in der Werkstoffaufnahme (4) ein formloser oder formneutraler Werk-
stoff (3) angeordnet ist;
 - die Strahlquelle (7) einen Strahl (6) emittiert, der mit der Verkippeinheit
(8) über die Baufläche (5) bewegt wird, wobei der Werkstoff (3) selektiv
bestrahlt wird;
 - der Strahl (6) mit der Verzerr-optik (10) bei einem schrägen Einfall auf
die Baufläche (5) in der Einfallsebene (30) gestaucht und/oder in der
Transversalebene (31) geweitet wird.
15. Verwendung einer Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 zum
generativen Aufbauen eines Bauteils (2), das Bestandteil einer axialen Strö-
mungsmaschine ausgelegt ist, insbesondere eines Flugtriebwerks.

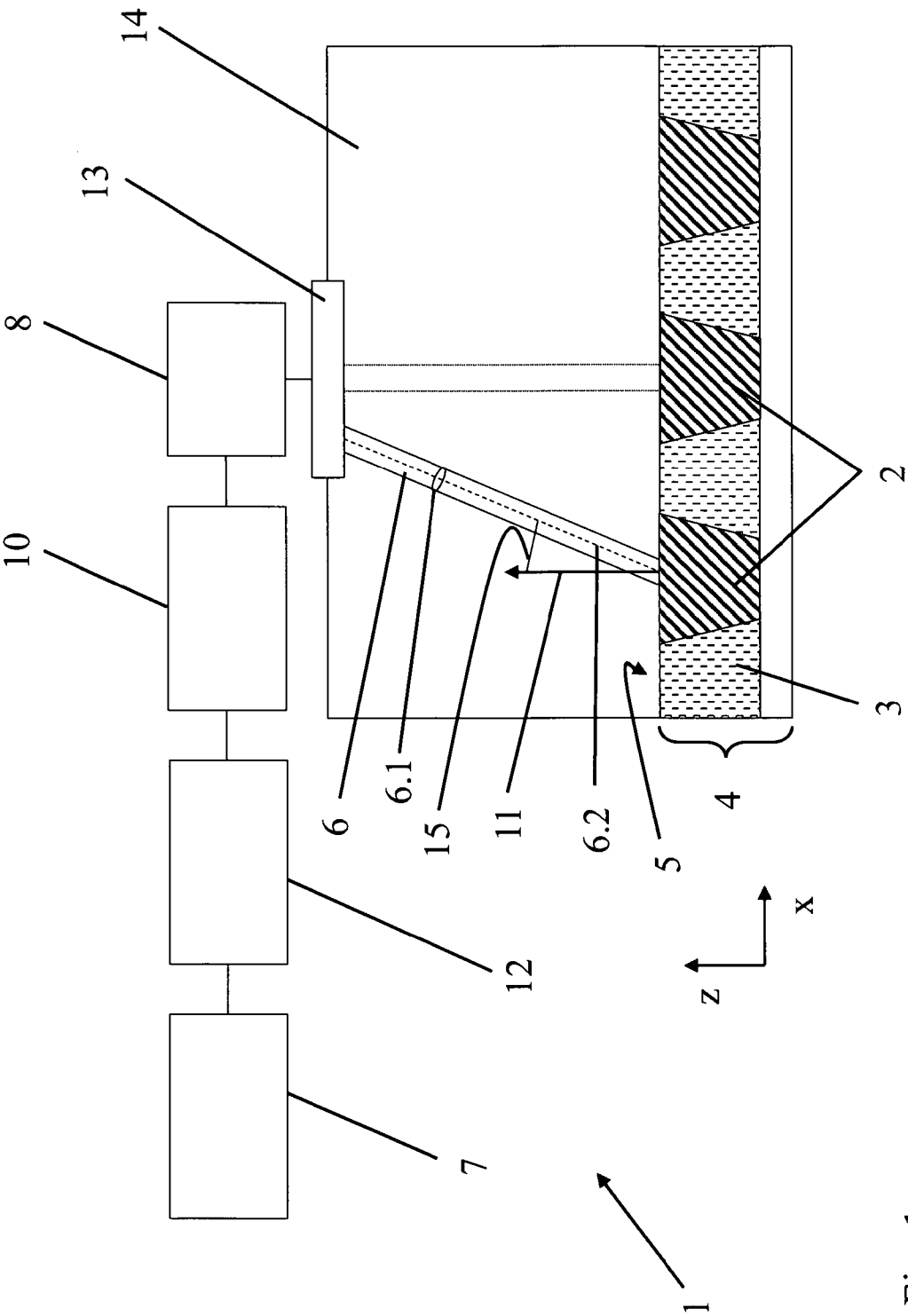


Fig. 1

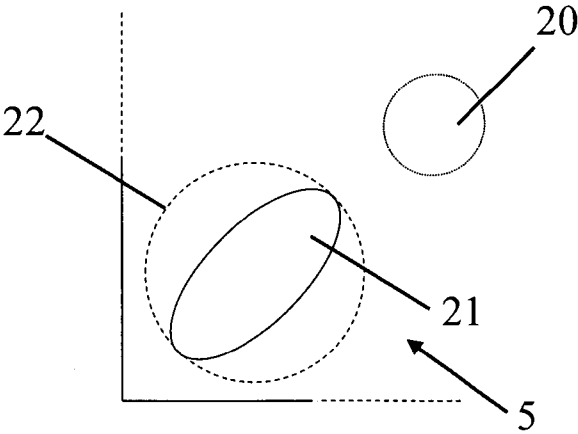


Fig. 2

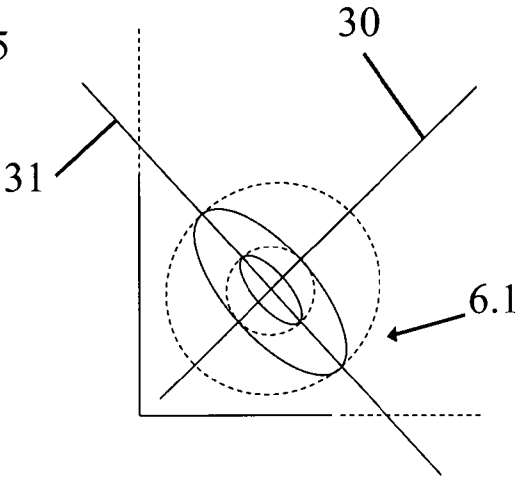


Fig. 3

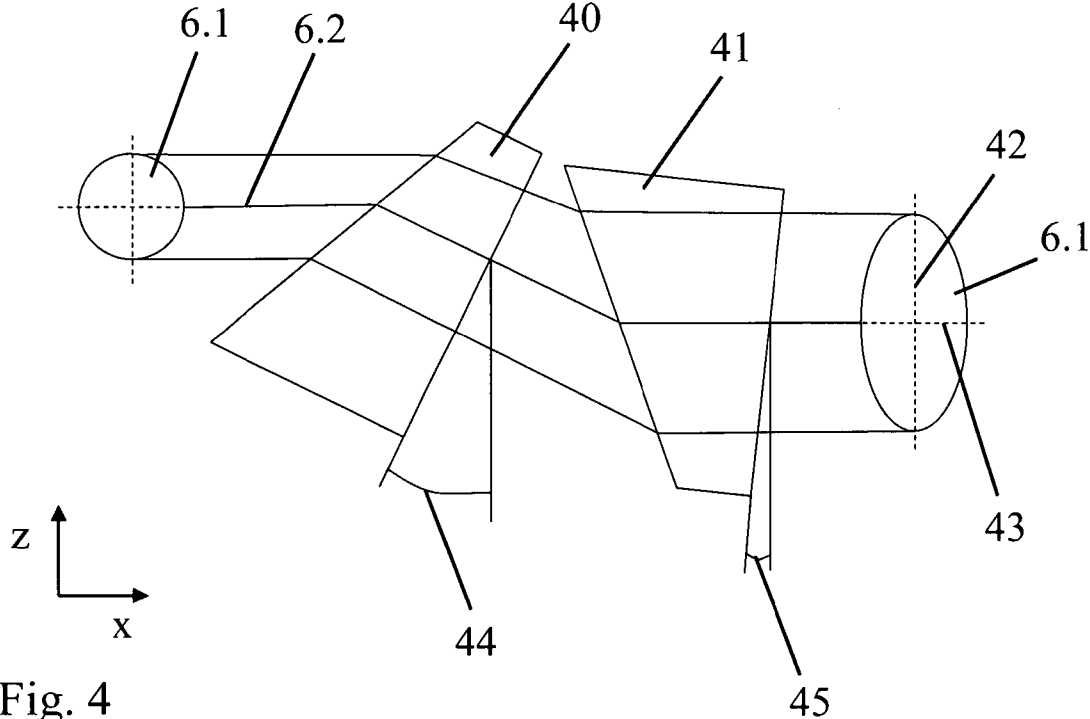


Fig. 4

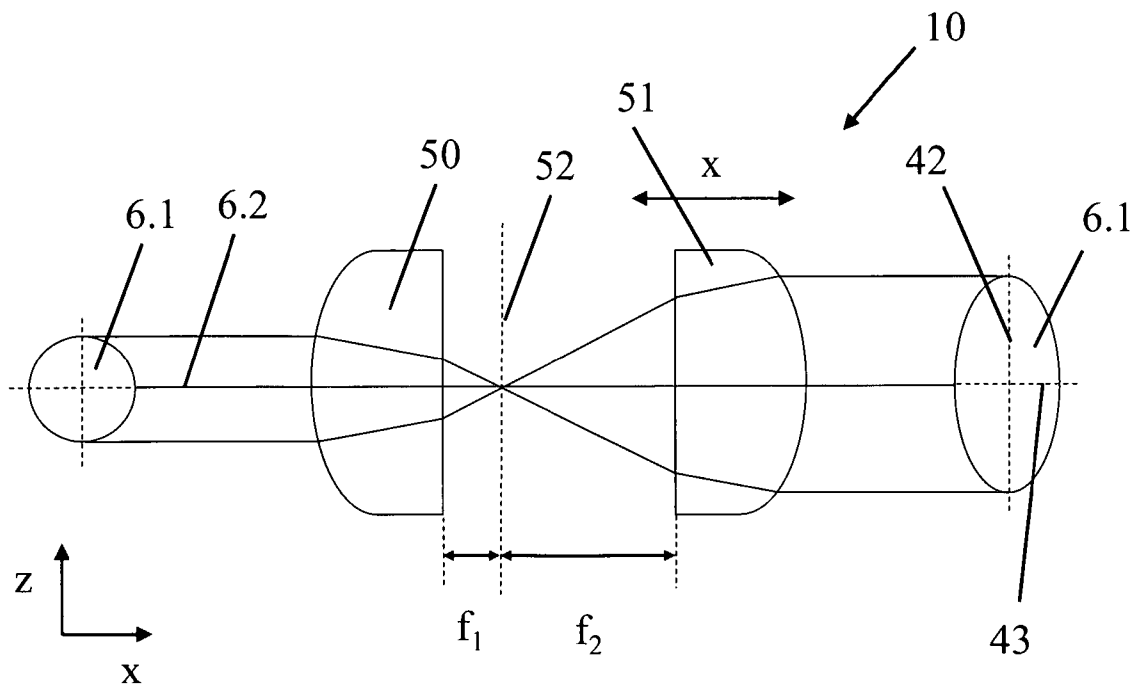


Fig. 5

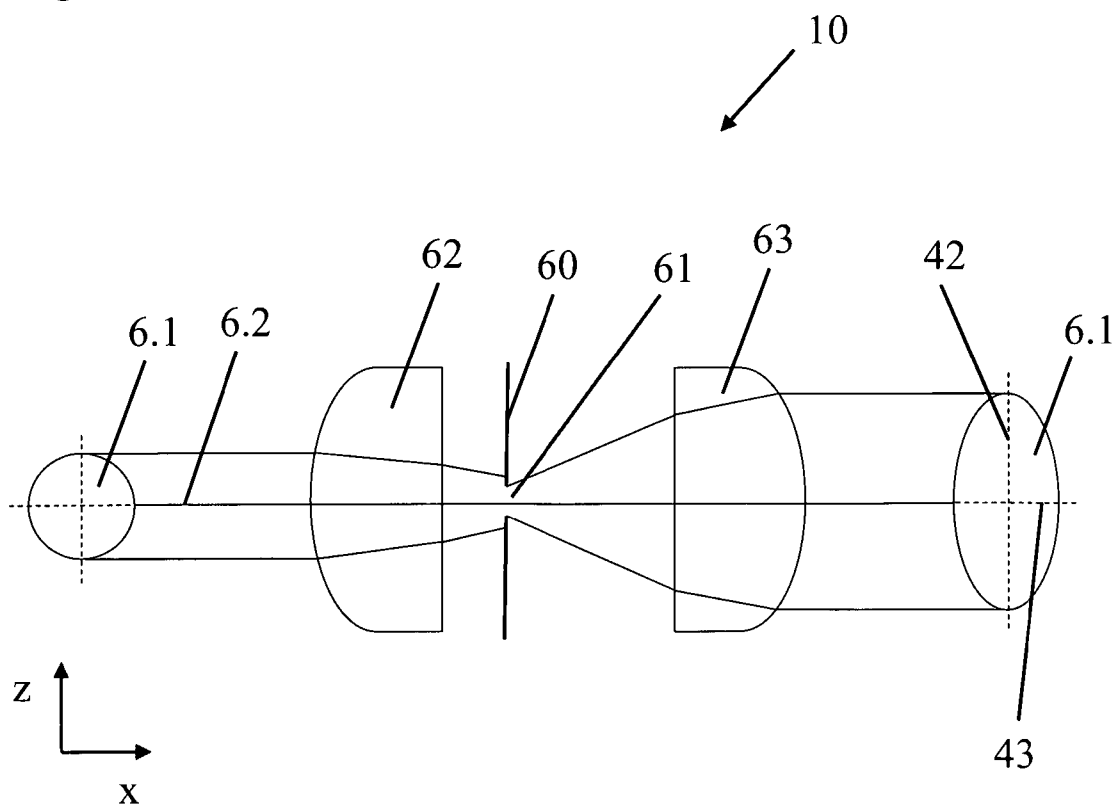


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2020/000018

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B22F 3/105(2006.01)i; **B23K 26/064**(2014.01)i; **B23K 26/342**(2014.01)i; **B29C 64/153**(2017.01)i; **B29C 64/268**(2017.01)i; **B33Y 30/00**(2015.01)i; **G02B 19/00**(2006.01)i; **G02B 26/08**(2006.01)i; **G02B 26/10**(2006.01)i; **G02B 27/09**(2006.01)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)

B22F; B23K; B29C; C22C; B33Y; G02B

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	CN 107336440 A (INNO LASER TECH CO LTD ET AL.) 10 November 2017 (2017-11-10) paragraphs [0025] - [0032], [0039] - [0044] figures 1-3	1-3,5,6,9,11,12,14,15 4,7,8
X Y	DE 60120905 T2 (3D SYSTEMS INC [US]) 15 February 2007 (2007-02-15) paragraphs [0001], [0014], [0037], [0038], [0041] - [0044] claim 1 figures 2-7	1,2,5,6,9,10,13,14 4
Y	US 5978148 A (OONO MASAHIRO [JP] ET AL) 02 November 1999 (1999-11-02) column 12, lines 32-62 figure 4	7,8
A	DE 102014012456 A1 (STEINMEYER MECHATRONIK GMBH [DE]) 25 February 2016 (2016-02-25) paragraphs [0001], [0036]; claim 1	1-15
A	DE 102010036632 A1 (BUGIEL RAPHAEL [DE]) 26 January 2012 (2012-01-26) claims 1-15; figures 1-5	1-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “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)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“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
 “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
 “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
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 April 2020

Date of mailing of the international search report

06 May 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

Knoflachner, Andreas

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2020/000018

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107336440	A	10 November 2017	CN	107336440	A	10 November 2017
				US	2019152138	A1	23 May 2019
				WO	2019029002	A1	14 February 2019
DE	60120905	T2	15 February 2007	AT	331235	T	15 July 2006
				AT	426185	T	15 April 2009
				DE	60120905	T2	15 February 2007
				EP	1237034	A2	04 September 2002
				EP	1659438	A1	24 May 2006
				JP	4057311	B2	05 March 2008
				JP	2002357781	A	13 December 2002
				US	6426840	B1	30 July 2002
US	5978148	A	02 November 1999	US	5978148	A	02 November 1999
				US	5991102	A	23 November 1999
DE	102014012456	A1	25 February 2016	NONE			
DE	102010036632	A1	26 January 2012	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B22F3/105 B33Y30/00	B23K26/064 G02B19/00
	B23K26/342 G02B26/08	B29C64/153 G02B26/10
	B29C64/268 G02B27/09	
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
B22F B23K B29C C22C B33Y G02B		
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		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	CN 107 336 440 A (INNO LASER TECH CO LTD ET AL.) 10. November 2017 (2017-11-10)	1-3,5,6, 9,11,12, 14,15
Y	Absätze [0025] - [0032], [0039] - [0044] Abbildungen 1-3	4,7,8

X	DE 601 20 905 T2 (3D SYSTEMS INC [US]) 15. Februar 2007 (2007-02-15)	1,2,5,6, 9,10,13, 14
Y	Absätze [0001], [0014], [0037], [0038], [0041] - [0044] Anspruch 1 Abbildungen 2-7	4

Y	US 5 978 148 A (OONO MASAHIRO [JP] ET AL) 2. November 1999 (1999-11-02) Spalte 12, Zeilen 32-62 Abbildung 4	7,8

	-/-	
☒ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
23. April 2020		06/05/2020
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 Knoflacher, Andreas

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2014 012456 A1 (STEINMEYER MECHATRONIK GMBH [DE]) 25. Februar 2016 (2016-02-25) Absätze [0001], [0036]; Anspruch 1 -----	1-15
A	DE 10 2010 036632 A1 (BUGIEL RAPHAEL [DE]) 26. Januar 2012 (2012-01-26) Ansprüche 1-15; Abbildungen 1-5 -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2020/000018

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
CN 107336440	A	10-11-2017	CN	107336440 A			10-11-2017	
			US	2019152138 A1			23-05-2019	
			WO	2019029002 A1			14-02-2019	

DE 60120905	T2	15-02-2007	AT	331235 T			15-07-2006	
			AT	426185 T			15-04-2009	
			DE	60120905 T2			15-02-2007	
			EP	1237034 A2			04-09-2002	
			EP	1659438 A1			24-05-2006	
			JP	4057311 B2			05-03-2008	
			JP	2002357781 A			13-12-2002	
			US	6426840 B1			30-07-2002	

US 5978148	A	02-11-1999	US	5978148 A			02-11-1999	
			US	5991102 A			23-11-1999	

DE 102014012456 A1		25-02-2016	KEINE					

DE 102010036632 A1		26-01-2012	KEINE					
