

(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
10. November 2022 (10.11.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/233831 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B29C 64/118 (2017.01) B33Y 10/00 (2015.01)
B29C 64/129 (2017.01) B33Y 30/00 (2015.01)
B29C 64/295 (2017.01) B33Y 40/20 (2020.01)
B29C 64/393 (2017.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/061786

(22) Internationales Anmeldedatum:
03. Mai 2022 (03.05.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 111 966.9
07. Mai 2021 (07.05.2021) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E. V.** [DE/DE]; Hansastr. 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: **WEGWERTH, Paul**; c/o Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien, Am Schleusen-
graben 14, 21029 Hamburg (DE).

(74) Anwalt: **GAGEL, Roland**; Landsberger Str. 480a, 81241
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, IQ, IR, IS, IT, JM, 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,

(54) Title: PROCESS AND ASSEMBLY FOR ADDITIVE MANUFACTURING OF COMPONENTS BY MATERIAL EXTRUSION

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ADDITIVEN FERTIGUNG VON BAUTEILEN MITTELS MATERIALEXTRUSION

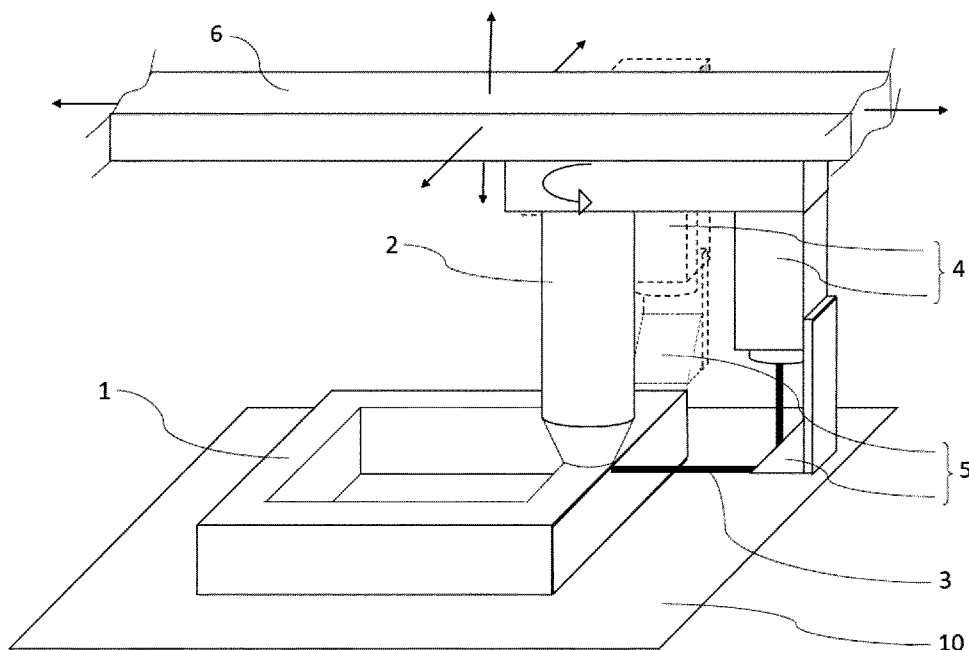


Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to a process and an assembly for additive manufacturing of components by material extrusion, wherein the components (1) are built up layerwise from a component material which is applied atop a carrier (10) layer by layer in a viscous state. In the process, the component material applied in each case as layer (8), in synchrony with application, is treated in the still-viscous state with at least one laser beam (3) directed onto a lateral boundary of the layer (8), preferably to achieve smoothing of unevenness on surfaces of the component (1). The process allows manufacturing of components by material extrusion with reduced surface roughness even on invisible surfaces, without any need for post-processing.

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren sowie eine Anordnung zur additiven Fertigung von Bauteilen mittels Materialextrusion, bei



WO 2022/233831 A1



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)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

dem die Bauteile (1) schichtweise aus einem Bauteilmaterial aufgebaut werden, das in viskosem Zustand Schicht für Schicht auf einem Träger (10) aufgetragen wird. Bei dem Verfahren wird das jeweils als Schicht (8) aufgetragene Bauteilmaterial synchron zum Auftrag in noch viskosem Zustand mit wenigstens einem auf eine seitliche Begrenzung der Schicht (8) gerichteten Laserstrahl (3) bearbeitet, vorzugsweise um eine Glättung von Unebenheiten an Oberflächen des Bauteils (1) zu erreichen. Das Verfahren ermöglicht die Fertigung von Bauteilen mittels Materialeextrusion mit verringerter Oberflächenrauheit auch an nicht sichtbaren Oberflächen, ohne hierzu eine Nachbearbeitung durchführen zu müssen.

Verfahren und Anordnung zur additiven Fertigung von
Bauteilen mittels Materialextrusion

Technisches Anwendungsgebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren
5 sowie eine Anordnung zur additiven Fertigung von
Bauteilen mittels Materialextrusion, bei denen die
Bauteile schichtweise aus einem Bauteilmaterial
aufgebaut werden, das in viskosem Zustand Schicht für
Schicht auf einem Träger aufgetragen wird.

10

Die Technik der Materialextrusion (MEx) ist die
derzeit am weitesten verbreitete additive Fertigungs-
technik. Das Bauteilmaterial wird dabei typischerweise
in Draht- oder Granulatform zugeführt, auf hohe
15 Temperaturen erhitzt und in schmelzflüssigem bzw.
viskosem Zustand in der Regel über eine Düse auf einem
Träger schichtweise aufgetragen, um das Bauteil
aufzubauen. Die wesentlichen Vorteile dieser
Technologie bestehen im einfachen Aufbau der
20 Anlagentechnik, einer großen Materialauswahl und der
Designfreiheit gegenüber konventionellen Fertigungs-
technologien. Die Technik der Materialextrusion wird
daher für die Fertigung von Bauteilen in nahezu allen
Industriezweigen eingesetzt.

25

Allerdings besitzt diese Technologie auch
Nachteile gegenüber konventionellen und anderen
additiven Fertigungsverfahren. Einer dieser Nachteile
besteht in der verhältnismäßig rauen Oberfläche der
30 gefertigten Bauteile. So werden in spanenden

- 2 -

Bearbeitungsprozessen Mittenrauwerte (Ra) bis zu 1 μm beim Drehen und 1,5 μm beim Fräsen erzielt. Bei mittels Materialextrusion hergestellten Bauteilen ist die Oberflächenstruktur stark von der Orientierung der Bauteiloberflächen, der Schichthöhe der einzelnen Schichten und der Extrusionsbreite abhängig. Es werden Mittenrauwerte von im Schnitt 20 μm erreicht, die in Abhängigkeit des Druckwinkels variieren. Die nach der Fertigung der Bauteile verbleibende Oberflächenstruktur wird in erster Linie durch die Bildung von Treppentufen aufgrund des schichtweisen Aufbaus und durch Überextrusion an den Rändern der Schichten verursacht. Beide Effekte lassen sich durch eine Anpassung der Prozessparameter reduzieren aber nicht vermeiden. Dadurch ist oft der technische Einsatz von Bauteilen eingeschränkt, die mittels Materialextrusion hergestellt wurden. So werden in vielen Anwendungsbereichen glatte Oberflächen benötigt. Die Technik der Materialextrusion wird daher häufig nur für die Entwicklung von Prototypen genutzt und nur selten für eine industrielle Fertigung herangezogen.

Stand der Technik

Für die Erzeugung glatter Oberflächen der mittels Materialextrusion gefertigten Bauteile sind unterschiedliche Techniken der Nachbearbeitung bekannt, beispielsweise die mechanische Nachbearbeitung mittels Fräsen, Drehen oder Schleifen. Bei diesen zerspanenden Bearbeitungsverfahren führen entweder das Werkzeug oder das Bauteil eine rotierende Bewegung und die jeweilige andere Komponente eine lineare Vorschubbewegung aus. Mit entsprechender NC-Programmierung können verschiedene Oberflächenformen und -qualitäten erreicht

werden. Dieser Nachbearbeitungsprozess ist allerdings aufwändig, vor allem bei manueller Nachbearbeitung und komplexen Bauteilen. Die Vorteile der additiven Fertigung werden dadurch reduziert. Bei der ebenfalls
5 für die Nachbearbeitung bekannten Technik des Gleitschleifens findet eine spanende Bearbeitung des Bauteils durch lose Schleifkörner statt. Die Schleifkörner und Bauteile werden dabei in einem gemeinsamen Behandlungsraum in eine undefinierte
10 Relativbewegung zueinander versetzt. Durch dieses Verfahren lässt sich die Oberflächenrauheit von additiv hergestellten Bauteilen um bis zu 80 bis 90% an außen liegenden Oberflächen senken. Allerdings werden schwer zugängliche Oberflächenbereiche nur unzureichend von
15 den Schleifkörnern erfasst, wodurch diese Bereiche eine geringere Reduzierung der Oberflächenrauheit erfahren. Weiterhin entstehen bei diesem Prozess in der Regel unerwünschte Verrundungen an den Kanten der Bauteile, die je nach Behandlungszeit und Form der Schleifkörner
20 unterschiedlich stark auftreten. Ein weiteres bekanntes Verfahren zur mechanischen Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile ist das Strahlen. Beim Strahlen wird die Bauteiloberfläche mit Hilfe eines pneumatisch zugeführten Strahlmittels bearbeitet. Dies ist ein
25 trockener körniger Stoff, der in den verschiedensten Werkstoffvarianten, Korngrößen und Kornformen angeboten wird. Es handelt sich dabei um ein einfaches Verfahren, das jedoch nur eine geringe Verbesserung der Oberflächengüte ermöglicht.

30

Neben diesen mechanischen Nachbearbeitungsverfahren werden auch andere Techniken wie Lackieren, Metallisieren oder chemische Nachbehandlung zur

Verringerung der Oberflächenrauheit der gefertigten Bauteile eingesetzt. Beim Lackieren werden schützende oder dekorative Beschichtungen mit Hilfe von flüssigen oder pulverförmigen Ausgangsstoffen erzeugt. Bei der

5 Metallisierung werden die Bauteile mit einem metallischen Überzug versehen, um die Funktionalität und die Oberflächengüte zu verbessern. Zur Verbesserung der Haftung der Metallisierung auf der Kunststoff-

10 oberfläche der Bauteile muss diese jedoch zusätzlich vorbehandelt werden. Zu den chemischen Nachbehandlungsverfahren zählen das Beizen (Tauchen) und die Behandlung mit reaktiven Gasen (Bedampfen). Mit diesen chemischen Nachbehandlungsverfahren wird eine sehr gute Oberflächenqualität auch bei nicht sichtbaren bzw.

15 schwer zugänglichen Oberflächen erreicht. Allerdings ist häufig der Einsatz von giftigen Chemikalien erforderlich.

Eine weitere bekannte Möglichkeit der

20 Nachbearbeitung der Oberflächen additiv gefertigter Bauteile besteht in der Laserbearbeitung, insbesondere im Laserpolieren. Das Laserpolieren ist ein thermisches Verfahren zur Oberflächenbehandlung. Die Energie des Lasers wird dazu genutzt, um das Material selektiv zu

25 schmelzen oder zu verdampfen. Der Erfolg einer Oberflächenbehandlung ist dabei abhängig von den Eigenschaften des Lasers (Wellenlänge, Pulsation, Leistung) und des zu bearbeitenden Materials. Beispiele für die Laserbearbeitung der Oberflächen von Bauteilen,

30 die mittels Materialextrusion gefertigt wurden, finden sich in den Veröffentlichungen von M.P. Dewey et al., „Development of laser polishing as an auxiliary post-process to improve surface quality in fused deposition

modeling parts", Proceedings of the ASME 2017,
International Manufacturing Science and Engineering
Conference, Seiten 1-5, oder Y. Chai et al., „Laser
polishing of thermoplastics fabricated using fused
5 deposition modelling", Int. J. Adv. Manuf. Technol.
(2018) 96, Seiten 4295 bis 4302. Allerdings lassen sich
mit dieser Technik nur sichtbare und mit dem Laser-
strahl zugängliche Oberflächen bearbeiten. Alle oben
beschriebenen Nachbearbeitungs- bzw. Nachbehandlungs-
10 verfahren stellen zudem jeweils einen zusätzlichen
Prozessschritt dar, der die Fertigungszeit der Bauteile
verlängert.

Die US 2018/0117836 A1 offenbart ein Verfahren zur
15 additiven Fertigung von Bauteilen, bei dem die additive
Fertigung auch mittels Materialextusion erfolgen kann.
Zur Verbesserung der Adhäsion der einzelnen Schichten
untereinander erfolgt dabei eine Bearbeitung jeder
Schicht mit einem oder mehreren Laserstrahlen jeweils
20 nach dem Auftrag der jeweiligen Schicht.

Die US 2018/0079136 A1 schlägt ebenfalls eine
Laserbearbeitung einer bereits aufgetragenen Schicht
vor. Bei dieser Druckschrift wird die jeweils
vorliegende Oberfläche vor der Materialabscheidung
25 erhitzt.

Die DE 10 2018 108 145 A1 beschreibt ein Verfahren
zur Bearbeitung von Oberflächen von mittels 3D-Druck
gefertigten Bauteilen, bei dem die Bauteile nach der
Fertigung in einem zusätzlichen Prozessschritt mittels
30 Laserstrahlung nachbearbeitet werden, um die Oberfläche
zu glätten.

- 6 -

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren sowie eine Anordnung zur additiven Fertigung von Bauteilen mittels Materialextrusion anzugeben, mit denen Bauteile mit Oberflächen einer
5 geringen Oberflächenrauheit auch an nicht sichtbaren Stellen ohne Notwendigkeit eines zusätzlichen Prozessschritts nach dem schichtweisen Aufbau der Bauteile erhalten werden können.

10 **Darstellung der Erfindung**

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren und der Anordnung gemäß den Patentansprüchen 1 und 9 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sowie der Anordnung sind Gegenstand der abhängigen Patent-
15 ansprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie den Ausführungsbeispielen entnehmen.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren werden die Bauteile in bekannter Weise schichtweise aus einem
20 Bauteilmaterial aufgebaut, das – vorzugsweise über wenigstens eine Extrusionsdüse – in viskosem Zustand Schicht für Schicht auf einem Träger, bspw. einem Substrat oder einer Grundplatte, aufgetragen wird. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass das jeweils
25 als Schicht aufgetragene Bauteilmaterial synchron zum Auftrag in noch viskosem Zustand mit wenigstens einem auf eine seitliche Begrenzung der Schicht gerichteten Laserstrahl bearbeitet wird. Diese Bearbeitung erfolgt vorzugsweise zur Glättung von Unebenheiten an Ober-
30 flächen des späteren Bauteils, die durch den schichtweisen Aufbau verursacht sind. Hierbei handelt es sich beispielsweise um Unebenheiten, die durch Überextrusion an den Rändern der jeweiligen Schichten

auftreten oder um Treppenstufen, die durch den schichtweisen Aufbau verursacht werden können. Diese Glättung kann durch materialformende oder durch materialabtragende Laserbearbeitung erfolgen, also das
5 Formen und/oder Entfernen des an den Rändern bzw. seitlichen Begrenzungen der Schicht im Falle der Überextrusion überstehenden Extrusionsgutes und/oder der Treppenstufen bei entsprechender Geometrie des Bauteils durch den gerichteten Energieeintrag der
10 hierzu geeignet gewählten Laserparameter. Anstelle der Glättung kann bei Bedarf auch eine gezielte Oberflächenstrukturierung durch die synchrone Laserbearbeitung erfolgen.

15 Als Energiequelle können verschiedenste Laser eingesetzt werden. Die Auswahl der Laserquelle ist maßgeblich vom zu bearbeitenden Material abhängig. Neben kontinuierlichen Laserquellen (CW-Laser) ist auch der Einsatz von gepulsten Lasern möglich. Je nach
20 gewähltem Lasersystem wird eine Oberflächenglättung oder Oberflächenstrukturierung durch mehrere Effekte erzielt. Zum einen kann der Energieeintrag so gewählt werden, dass das Bauteilmaterial lokal auf eine Temperatur oberhalb seiner Verdampfungstemperatur
25 erwärmt wird und somit ein Abtrag des Materials erfolgt. Zum anderen kann ein Oberflächenglättungseffekt auch durch ein Aufschmelzen des Materials hervorgerufen werden. Je nach Viskosität der Schmelze werden die Konturen des Bauteils dann durch
30 Oberflächenspannungseffekte zum Fließen gebracht. Dadurch entsteht ein Abtrag der Rauheitsspitzen und ein Auffüllen der Rauheitstäler. Beide Effekte können mit den unterschiedlichsten Lasertypen hervorgerufen

werden, wie dies aus dem Stand der Technik zur Laserbearbeitung von Oberflächen bekannt ist. Bei Nutzung gepulster Laser setzen die hochfrequentierten Laserpulse zusätzliche Schwingungsenergie in der
5 aufgebrachtten Schicht bzw. dem aufgebrachtten Bauteilvolumen frei. Die als Folge der durch den Materialextruder und das Lasersystem eingebrachten Wärmeenergie entstehende Mikroschmelze stellt dabei eine Schwingungsbarriere dar, wodurch Schwingungs-
10 energie absorbiert und in zusätzliche Wärme umgewandelt wird. Dies führt in Sekundenbruchteilen zum Abschmelzen der Oberflächenkontur.

Ein wesentliches Merkmal des vorgeschlagenen
15 Verfahrens besteht darin, dass die seitlichen Begrenzungen der Schicht durch den einen oder die mehreren Laserstrahlen synchron zum Materialauftrag dieser Schicht bearbeitet werden, also unmittelbar nach dem Auftrag, während das Bauteilmaterial noch in
20 viskosem Zustand vorliegt. Dadurch bilden der materialauftragende Extrusionsprozess und der materialabformende oder materialabtragende Laserprozess einen gemeinsamen Prozessschritt. Durch gleichzeitige Nutzung mehrerer Laserstrahlen, insbesondere von wenigstens
25 zwei von gegenüberliegenden Seiten eingestrahltten Laserstrahlen, die damit gleichzeitig auf gegenüberliegende seitliche Begrenzungen der Schicht gerichtet werden, können auch am späteren Bauteil von außen nicht sichtbare Oberflächen auf einfache Weise geglättet
30 werden. Die Laserstrahlen werden dabei quer zur Extrusionsrichtung auf die seitlichen Begrenzungen des soeben extrudierten Schichtanteils gerichtet. Je nach Geometrie des Bauteils erfolgt dies vorzugsweise durch

Laserstrahlen erfolgen, die parallel zur Schichtebene seitlich eingestrahlt werden. Die Laserstrahlen können auch unter einem Winkel zur Schichtebene eingestrahlt werden, der vorzugsweise $< 45^\circ$, besonders bevorzugt jedoch $< 10^\circ$ beträgt. Im Idealfall wird der jeweilige Laserstrahl orthogonal zu dem zu bearbeitenden Oberflächenbereich auf das Bauteilmaterial gerichtet. Durch die synchrone Bearbeitung ist für die Glättung oder Oberflächenstrukturierung ein geringerer Energieeintrag erforderlich als bei einer Nachbearbeitung des fertigen Bauteils mittels Laserstrahlung, da das viskose Material noch eine erhöhte Temperatur aufweist.

Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Anordnung eignen sich nicht nur zur Glättung der Oberfläche der jeweils gefertigten Bauteile, sondern - wie weiter oben bereits angeführt - auch zu einer zusätzlichen Strukturierung, die in gleicher Weise wie die Glättung dann ebenfalls im gleichen Prozessschritt erfolgen kann wie der Materialauftrag. Weiterhin kann die Laserbearbeitung auch eine Funktionalisierung der Oberfläche umfassen, bspw. durch Aktivierung von Stoffen im Bauteilmaterial mittels der Laserstrahlung. Dabei wird mit der durch die Laserstrahlung eingebrachten Energie ein chemischer Prozess gestartet, der beispielsweise beim LAM (Laser Additive Manufacturing) eine Aushärtung des in diesem Fall additiv eingebrachten Silikons bewirken kann.

Die vorgeschlagene Anordnung, die zur Durchführung des Verfahrens ausgebildet ist, weist entsprechend eine Extrusionseinrichtung, durch die das Bauteilmaterial in viskosem Zustand Schicht für Schicht auf einem Träger

auftragbar ist, und eine oder mehrere Laserbearbeitungseinrichtungen auf. Diese Laserbearbeitungseinrichtungen sind so angeordnet und ausgebildet, dass sie einen oder mehrere Laserstrahlen synchron zum

5 Materialauftrag durch die Extrusionseinrichtung von der Seite auf das jeweils als Schicht aufgetragene Bauteilmaterial in noch viskosem Zustand richten. Die Laserbearbeitungseinrichtungen können dabei direkt an einer Verfahreinheit bzw. Kinematik der Extrusions-

10 einrichtung angebracht sein oder auch unabhängig von dieser Kinematik. Je nach Aufbau der Anlage kann oder können die Laserbearbeitungseinrichtung(en) ortsfest angeordnet oder auch über eigene Kinematiken wenigstens in Teilen beweglich sein. So ist bspw. auch eine

15 ortsfeste Anordnung des oder der Laser in Verbindung mit einer Kinematik für einen strahlführenden Teil der jeweiligen Laserbearbeitungseinrichtung möglich. Die Anordnung und Ausbildung der Laserbearbeitungseinrichtung(en) muss lediglich die Laserbearbeitung der

20 seitlichen Begrenzungen des jeweiligen Schichtbereichs synchron zum Materialauftrag ermöglichen.

Mit dem Verfahren und der zugehörigen Anordnung lassen sich aufgrund des integrierten Laserbearbeitungsprozesses glatte oder strukturierte Oberflächen

25 bei mittels Materialextrusion hergestellten Bauteilen direkt während der Fertigung erzeugen. Im Vergleich zu einer nachgelagerten Laserbearbeitung werden die Oberflächen unmittelbar bei ihrer Entstehung geglättet

30 oder strukturiert. Dadurch sind auch innen liegende glatte oder gezielt strukturierte Oberflächen mittels Laserbearbeitung erzeugbar. Das Verfahren und die Anordnung vermeiden kosten- und zeitintensive

Nacharbeiten bei additiv hergestellten Bauteilen in Bezug auf die Oberflächenstruktur. Zudem können mit dem vorgeschlagenen Verfahren und der zugehörigen Anordnung höhere Aufbauraten mit größeren Schichtstärken bei
5 gleichbleibender Oberflächenqualität generiert werden. Dadurch kann die Technik der Materialextrusion wirtschaftlicher eingesetzt werden.

Das vorgeschlagene Verfahren lässt sich mit allen
10 additiven Materialextrusions-Techniken einsetzen, beispielsweise Fused Filament Fabrication (FFF), Fused Granular Fabrication (FGF), Direct Energy Deposition (DED), Liquid Additive Manufacturing (LAM) usw.. Die Hauptanwendung besteht in der Glättung der Bauteil-
15 oberflächen additiv gefertigter Bauteile. Darüber hinaus kann mittels dieser Laserbearbeitung auch eine Funktionalisierung oder Aktivierung der Oberflächen stattfinden.

20 **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Anordnung werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals erläutert. Hierbei zeigen:

25

Fig. 1 eine schematische Darstellung zweier
Oberflächeneffekte bei der Materialextrusion,
die zu Oberflächenunebenheiten führen;

30 Fig. 2 eine schematisierte Darstellung der
Oberflächenglättung mit dem vorgeschlagenen
Verfahren;

Fig. 3 ein erstes Beispiel für einen Aufbau der vorgeschlagenen Anordnung in schematischer Darstellung; und

5 Fig. 4 ein zweites Beispiel für einen Aufbau der vorgeschlagenen Anordnung in schematischer Darstellung.

10 Wege zur Ausführung der Erfindung

Bei dem additiven Fertigungsverfahren der Materialextrusion treten Unebenheiten an Oberflächen der gefertigten Bauteile auf, die zu erhöhten Mittenrauwerten an diesen Oberflächen führen. Diese
15 Unebenheiten sind auf zwei Effekte zurückzuführen, die anhand der schematischen Darstellung der Figur 1 veranschaulicht werden. Einer dieser Effekte ist die Bildung von Treppenstufen 7 aufgrund des schichtweisen Aufbaus. Die linke Teilabbildung der Figur 1 zeigt
20 hierbei sechs übereinander aufgebrachte Schichten 8, mit denen in diesem Querschnitt eine halbkreisförmige Sollkontur 9 des Bauteils erzeugt werden soll. Die einzelnen Schichten 8 werden hierbei nacheinander mittels Materialextrusion auf einen Träger 10
25 aufgebracht. Die Treppenstufen 7 entstehen durch die Schichtdicke der einzelnen Schichten 8. Gemessen an der Sollkontur 9 ist der Treppenstufeneffekt unterschiedlich stark ausgeprägt, so dass auch die Oberflächenstruktur des fertigen Bauteils entsprechend variiert.

30

In der rechten Teilabbildung der Figur 1 ist ein anderer Effekt zu erkennen, der zu einer unebenen Oberfläche führt. Dieser Effekt entsteht durch

Überextrusion bei dem Auftrag der jeweiligen Schicht. Diese Überextrusion führt zu überstehenden Wülsten 11 des Bauteilmaterials an den seitlichen Begrenzungen bzw. Rändern der jeweiligen Schichten 8. In der rechten
5 Teilabbildung der Figur 1 sind wiederum mehrere Schichten 8 und auch die Sollkontur 9 des Bauteils zu erkennen. Oberhalb der Schichten 8 ist die Extrusionsdüse 2 angedeutet.

10 Bei dem vorgeschlagenen Verfahren können die unerwünschten Treppenstufen 7 sowie die durch Überextrusion verursachten Wülste 11 noch während des Aufbaus des Bauteils abgetragen bzw. geglättet werden. Dies erfolgt bei der Materialeextrusion mit einer
15 integrierten Lasereinheit zur Oberflächenglättung oder Oberflächenstrukturierung. Der materialauftragende Extrusionsprozess und der materialformende bzw. materialabtragende Laserprozess werden hierbei synchronisiert und bilden einen gemeinsamen Prozess-
20 schritt. Dabei werden ein oder mehrere Laserstrahlen 3 auf den Austritt der Extrusionseinheit, in der Regel eine Extrusionsdüse 2, gerichtet, wie dies in Figur 2 schematisch angedeutet ist. Der Laserstrahl 3 wird hierbei orthogonal zur jeweils zu glättenden Oberfläche
25 des Bauteils gerichtet. Die Orthogonalität ist nicht in jedem Falle erforderlich bzw. möglich. Figur 2 zeigt hierbei schematisch, dass während der Materialeextrusion das jeweils aufgetragene Bauteilmaterial der einzelnen Schichten 2 unmittelbar beim Auftrag bereits mit dem
30 Laserstrahl 3 bearbeitet wird. Die Bewegungsrichtung der Extrusionsdüse 2 ist mit dem Pfeil angedeutet.

Die für die Fertigung gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren erforderlichen Systeme bzw. Einrichtungen können in unterschiedlicher Weise angeordnet werden. So zeigt Figur 3 ein erstes Beispiel für eine mögliche
5 Ausgestaltung der vorgeschlagenen Anordnung. In dieser Figur ist der bereits aufgebaute Teil des Bauteils 1 zu erkennen, auf dem mit der Extrusionsdüse 2 noch weitere Schichten aufgebracht werden. Die Extrusionsdüse 2 ist an einer Kinematik 6 befestigt, die eine Bewegung der
10 Düse 2 in allen drei Raumrichtungen (x, y, z) ermöglicht, wie dies durch die geradlinigen Pfeile in der Figur angedeutet ist. Weiterhin ist in dieser Darstellung eine Lasereinrichtung bestehend aus einem Laser 4 und einer Fokussiereinheit 5 zu erkennen, über
15 die der Laserstrahl 3 umgelenkt und synchron zum Materialauftrag auf die seitliche Begrenzung der aufgetragenen Schicht gerichtet wird. Die Lasereinrichtung ist in dieser Ausgestaltung um die Extrusionsdüse 2 rotierbar, wie dies durch den
20 gekrümmten Pfeil in der Figur angedeutet ist. Zusätzlich können auch eine oder mehrere weitere derartiger Lasereinrichtungen am Extruder bzw. der Kinematik 6 angeordnet sein, um die jeweils aufgetragene Schicht gleichzeitig von mehreren Seiten
25 zu bearbeiten. Bei allen Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung besteht auch die Möglichkeit, den Laserstrahl bei Bedarf mit Hilfe einer zusätzlichen Scaneinrichtung eine Scanbewegung ausführen zu lassen.

30 Figur 4 zeigt schließlich noch eine weitere beispielhafte Ausgestaltung der vorgeschlagenen Anordnung, bei der die Lasereinrichtung bestehend aus Laser 4 und Fokussiereinheit 5 außerhalb der

Extrusionseinrichtung mit Extrusionsdüse 2 und Kinematik 6 angeordnet sind. In diesem Beispiel wird eine polare Kinematik eingesetzt, bei der der Träger 10 mit dem Bauteil 1 um eine zentrale Achse rotiert. Die
5 Extrusionsdüse 2 ist dabei an einer weiteren Kinematik angebracht, die eine Bewegung der Extrusionsdüse 2 in den drei Raumrichtungen ermöglicht. Durch die relative Bewegung des Bauteils über die Rotation des Trägers 10 können alle Oberflächen mit nur einer Lasereinrichtung
10 bearbeitet werden. Vorzugsweise sind jedoch wenigstens zwei sich gegenüber liegende Lasereinrichtungen in dieser Anordnung vorhanden, um die jeweils aufgebrachte Schicht von beiden Seitens gleichzeitig bearbeiten zu können.

15

Die in den Figuren 3 und 4 dargestellten Anordnungen stellen nur Beispiele dar. Die Anordnung, der Aufbau und die Anzahl der Lasereinrichtungen können ebenso wie die Anordnung und der Aufbau der Extrusions-
20 einrichtung variieren.

Bezugszeichenliste

	1	Bauteil
5	2	Extrusionsdüse
	3	Laserstrahl
	4	Laser
	5	Fokussiereinheit
	6	Kinematik
10	7	Treppenstufen
	8	Schichten
	9	Sollkontur des Bauteils
	10	Träger
	11	Wulst
15		

Patentansprüche

1. Verfahren zur additiven Fertigung von Bauteilen
mittels Materialextrusion, bei dem die Bauteile
(1) schichtweise aus einem Bauteilmaterial
5 aufgebaut werden, das in viskosem Zustand Schicht
für Schicht auf einem Träger (10) aufgetragen
wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass das jeweils als Schicht (8) aufgetragene
10 Bauteilmaterial synchron zum Materialauftrag in
noch viskosem Zustand mit wenigstens einem auf
eine seitliche Begrenzung der Schicht (8)
gerichteten Laserstrahl (3) bearbeitet wird, so
dass Materialauftrag und Laserbearbeitung einen
15 gemeinsamen Prozessschritt bilden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die seitliche Begrenzung der Schicht (8)
20 durch den Laserstrahl (3) wenigstens zum Teil
geformt und/oder abgetragen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
25 dass das aufgetragene Bauteilmaterial an der
seitlichen Begrenzung der Schicht (8) durch den
Laserstrahl (3) aufgeschmolzen und/oder teilweise
verdampft wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Bearbeitung mit dem Laserstrahl (3) so
durchgeführt wird, dass eine Glättung von
5 Unebenheiten an Oberflächen des Bauteils (1)
erreicht wird, die durch den schichtweisen Aufbau
verursacht sind.
5. Verfahren nach Anspruch 4,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass durch die Bearbeitung mit dem Laserstrahl (3)
durch Überextrusion verursachte Unebenheiten
und/oder durch den schichtweisen Aufbau
verursachte Treppenstufen an den Oberflächen des
15 Bauteils (1) geglättet werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Laserstrahl (3) unter einem Winkel von <
20 45°, vorzugsweise < 10°, zu einer Schichtebene der
Schicht (8) auf die seitliche Begrenzung der
Schicht (8) gerichtet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass die Fertigung der Bauteile (1) mit einer
Anlage zur Materialextusion erfolgt, in die ein
oder mehrere Lasereinrichtungen (4, 5) zur
Erzeugung des einen oder der mehreren Laser-
30 strahlen (3) integriert sind.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,

5 dass die Bearbeitung mit wenigstens zwei von gegenüberliegenden Seiten eingestrahlt Laserstrahlen (3) erfolgt, die auf gegenüberliegende seitliche Begrenzungen der Schicht (8) gerichtet werden.

9. Anordnung zur additiven Fertigung von Bauteilen mittels Materialextrusion, bei der die Bauteile (1) schichtweise aus einem Bauteilmaterial aufgebaut werden, mit
- 10 - einer Extrusionseinrichtung (2, 6), durch die das Bauteilmaterial in viskosem Zustand Schicht für Schicht auf einem Träger (10) auftragbar ist, und
- 15 - einer oder mehreren Laserbearbeitungseinrichtungen (4, 5), die so angeordnet und ausgebildet sind, dass sie einen oder mehrere Laserstrahlen (3) synchron zum Materialauftrag durch die Extrusionseinrichtung (2, 6) seitlich
- 20 auf das jeweils als Schicht aufgetragene Bauteilmaterial in noch viskosem Zustand richten, so dass Materialauftrag und Laserbearbeitung einen gemeinsamen Prozessschritt bilden.
- 25 10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserbearbeitungseinrichtung(en) (4, 5) so angeordnet und ausgebildet ist oder sind, dass sie den oder die Laserstrahl(en) (3) unter einem
- 30 Winkel von $< 45^\circ$, vorzugsweise $< 10^\circ$, zu einer Schichtebene der Schicht (8) auf die seitliche Begrenzung der Schicht (8) richtet oder richten.

11. Anordnung nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Laserbearbeitungseinrichtungen (4, 5) so
angeordnet und ausgebildet ist oder sind, dass sie
5 die Laserstrahlen (3) gleichzeitig von gegenüber-
liegenden Seiten auf gegenüberliegende seitliche
Begrenzungen der Schicht (8) richten.
12. Anordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass die Extrusionseinrichtung (2, 6) eine
Kinematik (6) aufweist, an der auch die eine oder
die mehreren Lasereinrichtungen (4, 5) befestigt
sind.
- 15 13. Anordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass die eine oder die mehreren Lasereinrichtungen
(4, 5) unabhängig von einer Kinematik (6) der
20 Extrusionseinrichtung (2, 6) angeordnet sind.

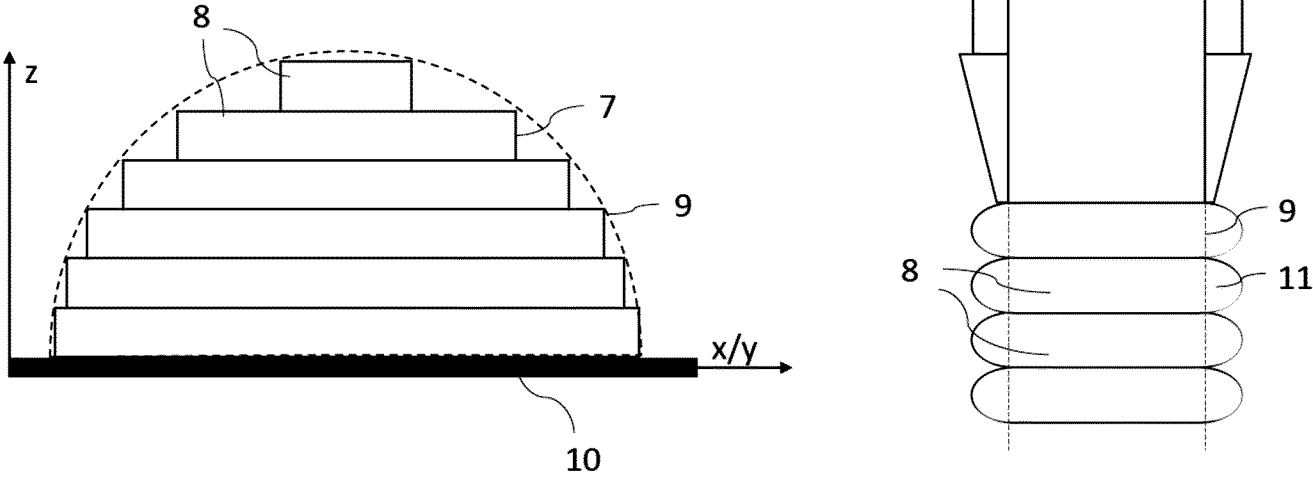


Fig. 1

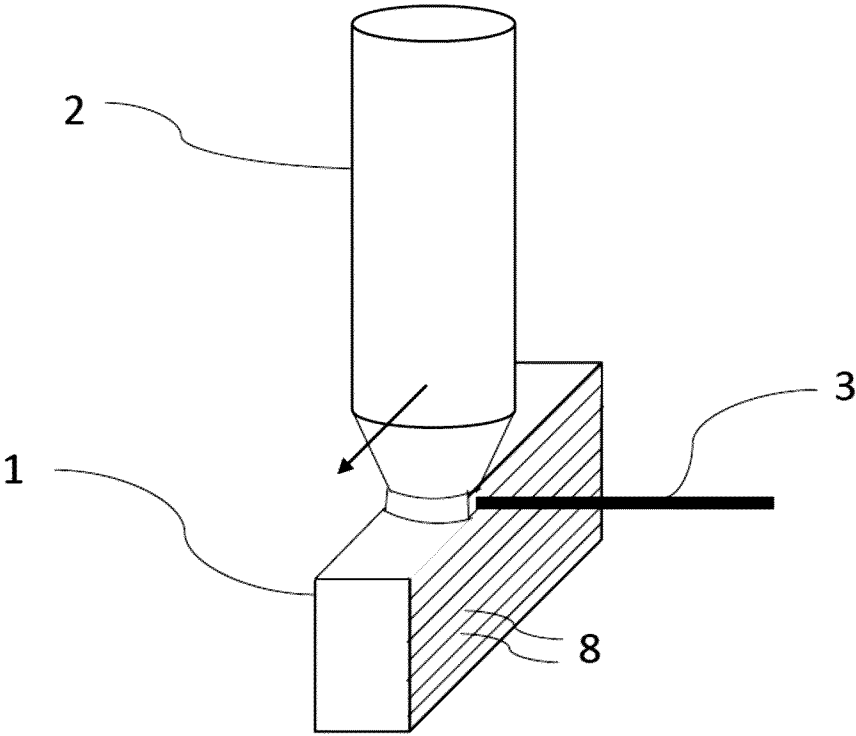


Fig. 2

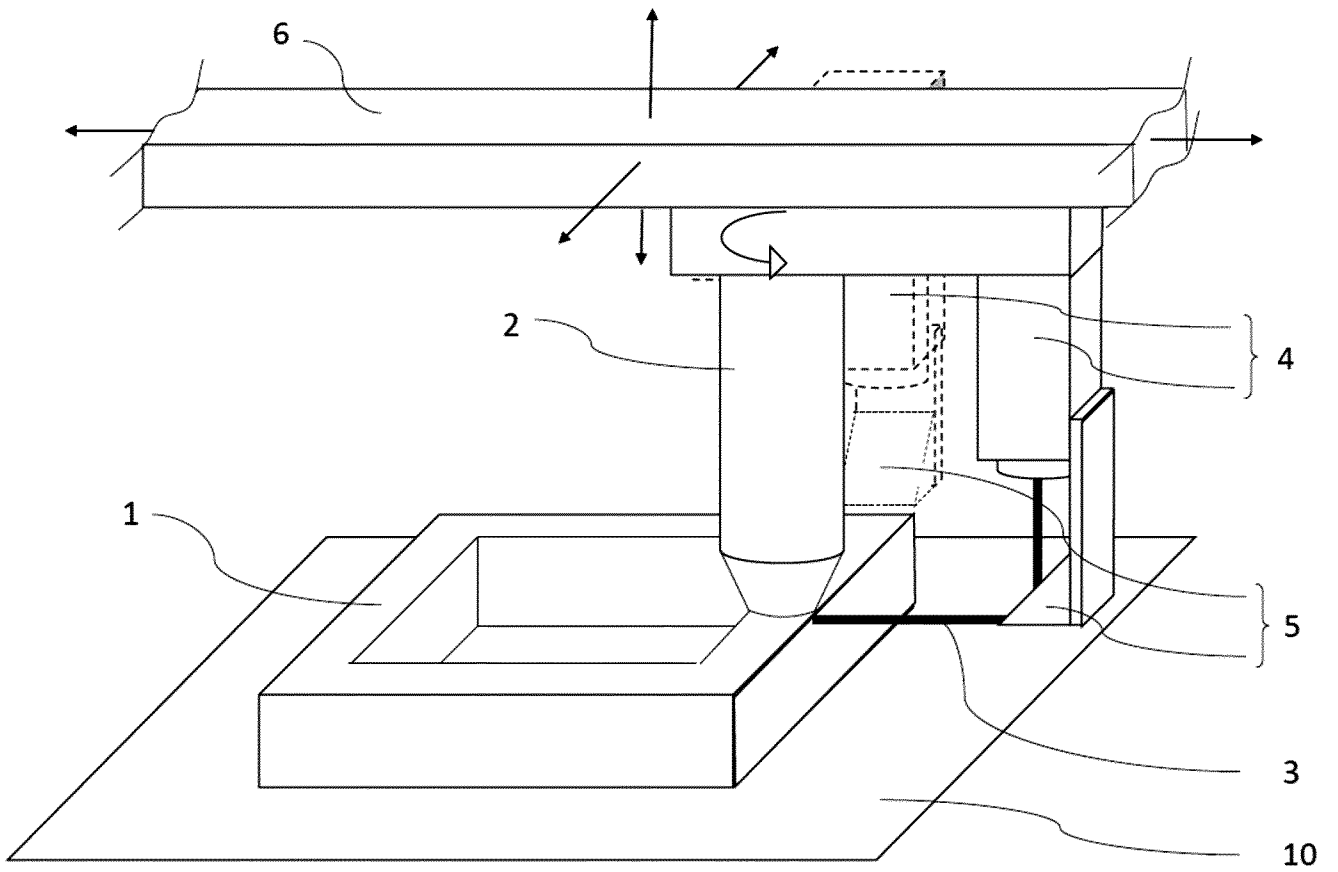


Fig. 3

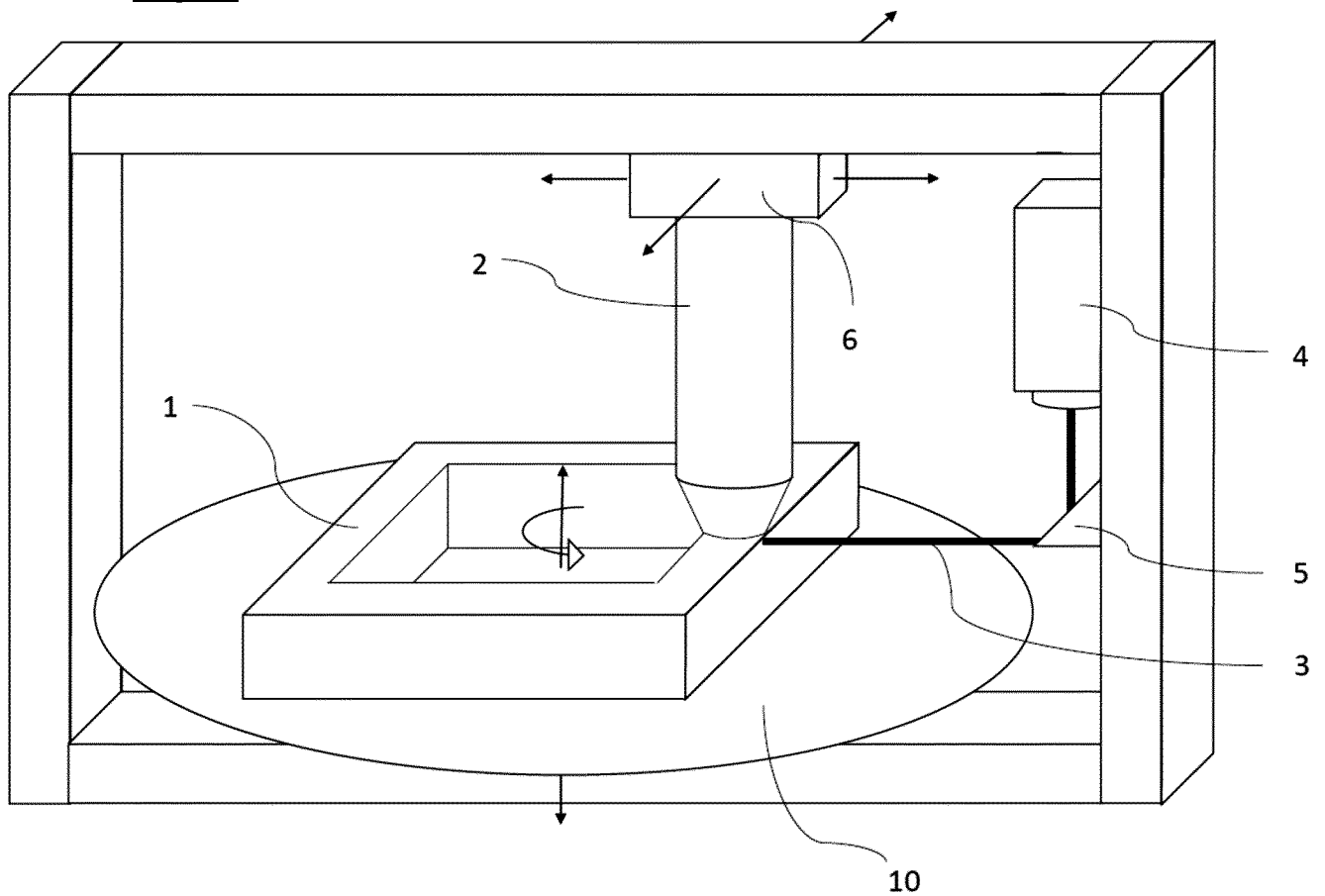


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2022/061786**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

B29C 64/118(2017.01)i; **B29C 64/129**(2017.01)i; **B29C 64/295**(2017.01)i; **B29C 64/393**(2017.01)i; **B33Y 10/00**(2015.01)i; **B33Y 30/00**(2015.01)i; **B33Y 40/20**(2020.01)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.
X	EP 3318389 A1 (BOEING CO [US]) 09 May 2018 (2018-05-09) paragraph [0013] - paragraph [0064]; claims 1-15; figures 1-2	1-3,6,7,9,10,13
X	CN 106584845 A (INST CHEMISTRY CAS) 26 April 2017 (2017-04-26) the whole document	1-5,8,9,11,12



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

06 September 2022

Date of mailing of the international search report

16 September 2022

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

Lang, Xavier

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2022/061786

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	3318389	A1	09 May 2018	CN	108068304	A	25 May 2018
				EP	3318389	A1	09 May 2018
				US	2018126671	A1	10 May 2018
CN	106584845	A	26 April 2017	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B29C64/118	B29C64/129
	B33Y30/00	B33Y40/20
ADD.	B29C64/295	B29C64/393
		B33Y10/00
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.
X	EP 3 318 389 A1 (BOEING CO [US]) 9. Mai 2018 (2018-05-09) Absatz [0013] – Absatz [0064]; Ansprüche 1-15; Abbildungen 1-2 -----	1-3, 6, 7, 9, 10, 13
X	CN 106 584 845 A (INST CHEMISTRY CAS) 26. April 2017 (2017-04-26) das ganze Dokument -----	1-5, 8, 9, 11, 12
☐ 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
6. September 2022		16/09/2022
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 Lang, Xavier

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/061786

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3318389 A1	09-05-2018	CN 108068304 A	25-05-2018
		EP 3318389 A1	09-05-2018
		US 2018126671 A1	10-05-2018
CN 106584845 A	26-04-2017	KEINE	