



(10) **DE 10 2021 111 966 A1** 2022.11.10

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 111 966.9**

(22) Anmeldetag: **07.05.2021**

(43) Offenlegungstag: **10.11.2022**

(51) Int Cl.: **B29C 64/106** (2017.01)

B29C 64/209 (2017.01)

B29C 64/268 (2017.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

(71) Anmelder:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eingetragener Verein,
80686 München, DE**

(74) Vertreter:
**Gagel, Roland, Dipl.-Phys.Univ. Dr.rer.nat., 81241
München, DE**

(72) Erfinder:
Wegwerth, Paul, 21029 Hamburg, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

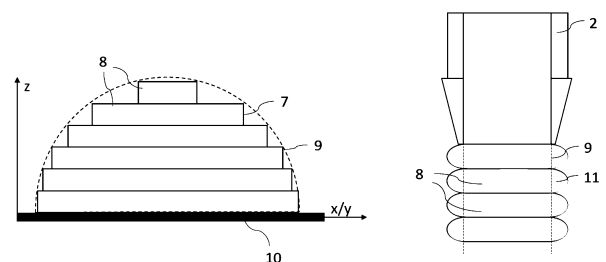
DE	10 2018 108 145	A1
US	2018 / 0 079 136	A1
US	2018 / 0 117 836	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anordnung zur additiven Fertigung von Bauteilen mittels Materialextrusion**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Anordnung zur additiven Fertigung von Bauteilen mittels Materialextrusion, bei dem die Bauteile schichtweise aus einem Bauteilmaterial aufgebaut werden, das in viskosem Zustand Schicht für Schicht auf einem Träger aufgetragen wird. Bei dem Verfahren wird das jeweils als Schicht aufgetragene Bauteilmaterial synchron zum Auftrag in noch viskosem Zustand mit wenigstens einem auf eine seitliche Begrenzung der Schicht gerichteten Laserstrahl bearbeitet, vorzugsweise um eine Glättung von Unebenheiten an Oberflächen des Bauteils zu erreichen. Das Verfahren ermöglicht die Fertigung von Bauteilen mittels Materialextrusion mit verringerter Oberflächenrauheit auch an nicht sichtbaren Oberflächen, ohne hierzu eine Nachbearbeitung durchführen zu müssen.



Beschreibung

Technisches Anwendungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren 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.

[0002] Die Technik der Materialextrusion (MEx) ist die derzeit am weitesten verbreitete additive Fertigungstechnik. Das Bauteilmaterial wird dabei typischerweise in Draht- oder Granulatform zugeführt, auf hohe 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 Anlagentechnik, einer großen Materialauswahl und der Designfreiheit gegenüber konventionellen Fertigungstechnologien. Die Technik der Materialextrusion wird daher für die Fertigung von Bauteilen in nahezu allen Industriezweigen eingesetzt.

[0003] Allerdings besitzt diese Technologie auch Nachteile gegenüber konventionellen und anderen additiven Fertigungsverfahren. Einer dieser Nachteile besteht in der verhältnismäßig rauen Oberfläche der gefertigten Bauteile. So werden in spanenden Bearbeitungsprozessen Mittenrauwerte (R_a) bis zu $1\text{ }\mu\text{m}$ beim Drehen und $1,5\text{ }\mu\text{m}$ 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 $20\text{ }\mu\text{m}$ erreicht, die in Abhängigkeit des Druckwinkels variieren. Die nach der Fertigung der Bauteile verbleibende Oberflächenstruktur wird in erster Linie durch die Bildung von Treppenstufen 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

[0004] 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 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 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 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 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 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.

[0005] 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 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 Kunststoffoberfläche 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. schwer zugänglichen Oberflä-

chen erreicht. Allerdings ist häufig der Einsatz von giftigen Chemikalien erforderlich.

[0006] Eine weitere bekannte Möglichkeit der 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 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, die mittels Materialeextrusion gefertigt wurden, finden sich in den Veröffentlichungen von M.P. Dewey et al., „Development of laser polishing as an auxiliary postprocess 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 deposition modelling“, Int. J. Adv. Manuf. Technol. (2018) 96, Seiten 4295 bis 4302. Allerdings lassen sich mit dieser Technik nur sichtbare und mit dem Laserstrahl zugängliche Oberflächen bearbeiten. Alle oben beschriebenen Nachbearbeitungs- bzw. Nachbehandlungsverfahren stellen zudem jeweils einen zusätzlichen Prozessschritt dar, der die Fertigungszeit der Bauteile verlängert.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren sowie eine Anordnung zur additiven Fertigung von Bauteilen mittels Materialeextrusion anzugeben, mit denen Bauteile mit Oberflächen einer geringen Oberflächenrauheit auch an nicht sichtbaren Stellen ohne Notwendigkeit eines zusätzlichen Prozessschritts nach dem schichtweisen Aufbau der Bauteile erhalten werden können.

Darstellung der Erfindung

[0008] 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 Patentansprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie den Ausführungsbeispielen entnehmen.

[0009] Bei dem vorgeschlagenen Verfahren werden die Bauteile in bekannter Weise schichtweise aus einem 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 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 Oberflächen 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 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 hierzu geeignet gewählten Laserparameter. Anstelle der Glättung kann bei Bedarf auch eine gezielte Oberflächenstrukturierung durch die synchrone Laserbearbeitung erfolgen.

[0010] 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 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 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 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 aufgetragenen Schicht bzw. dem aufgetragenen Bauteilvolumen frei. Die als Folge der durch den Materialeextruder und das Lasersystem eingebrachten Wärmeenergie entstehende Mikroschmelze stellt dabei eine Schwingungsbarriere dar, wodurch Schwingungsenergie absorbiert und in zusätzliche Wärme umgewandelt wird. Dies führt in Sekundenbruchteilen zum Abschmelzen der Oberflächenkontur.

[0011] Ein wesentliches Merkmal des vorgeschlagenen 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 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 zwei von gegenüberliegenden Seiten eingestrahlten 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 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.

[0012] 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 aufgebrachten Silikons bewirken kann.

[0013] 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 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 Verfahrereinheit bzw. Kinematik der Extrusionseinrichtung 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 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 seitlichen Begrenzungen des jeweiligen Schichtbereichs synchron zum Materialauftrag ermöglichen.

[0014] Mit dem Verfahren und der zugehörigen Anordnung lassen sich aufgrund des integrierten Laserbearbeitungsprozesses glatte oder strukturierte Oberflächen bei mittels Materialextrusion hergestellten Bauteilen direkt während der Fertigung erzeugen. Im Vergleich zu einer nachgelagerten Laserbearbeitung werden die Oberflächen unmittelbar bei ihrer Entstehung geglättet 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 gleichbleibender Oberflächenqualität generiert werden. Dadurch kann die Technik der Materialextrusion wirtschaftlicher eingesetzt werden.

[0015] Das vorgeschlagene Verfahren lässt sich mit allen 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 Bauteiloberflächen additiv gefertigter Bauteile. Darüber hinaus kann mittels dieser Laserbearbeitung auch eine Funktionalisierung oder Aktivierung der Oberflächen stattfinden.

Figurenliste

[0016] Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Anordnung werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals erläutert. Hierbei zeigen:

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

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

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

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0017] Bei dem additiven Fertigungsverfahren der Materialeextrusion treten Unebenheiten an Oberflächen der gefertigten Bauteile auf, die zu erhöhten Mittenrauwerten an diesen Oberflächen führen. Diese Unebenheiten sind auf zwei Effekte zurückzuführen, die anhand der schematischen Darstellung der **Fig. 1** veranschaulicht werden. Einer dieser Effekte ist die Bildung von Treppenstufen 7 aufgrund des schichtweisen Aufbaus. Die linke Teilabbildung der **Fig. 1** zeigt hierbei sechs übereinander aufgebraute Schichten 8, mit denen in diesem Querschnitt eine halbkreisförmige Sollkontur 9 des Bauteils erzeugt werden soll. Die einzelnen Schichten 8 werden hierbei nacheinander mittels Materialeextrusion auf einen Träger 10 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.

[0018] In der rechten Teilabbildung der **Fig. 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 Teilabbildung der **Fig. 1** sind wiederum mehrere Schichten 8 und auch die Sollkontur 9 des Bauteils zu erkennen. Oberhalb der Schichten 8 ist die Extrusionsdüse 2 angedeutet.

[0019] 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 integrierten Lasereinheit zur Oberflächenglättung oder Oberflächenstrukturierung. Der materialauftragende Extrusionsprozess und der materialformende bzw. materialabtragende Laserprozess werden hierbei synchronisiert und bilden einen gemeinsamen Prozessschritt. Dabei werden ein oder mehrere Laserstrahlen 3 auf den Austritt der Extrusionseinheit, in der Regel eine Extrusionsdüse 2, gerichtet, wie dies in **Fig. 2** schematisch angedeu-

tet ist. Der Laserstrahl 3 wird hierbei orthogonal zur jeweils zu glättenden Oberfläche des Bauteils gerichtet. Die Orthogonalität ist nicht in jedem Falle erforderlich bzw. möglich. **Fig. 2** zeigt hierbei schematisch, dass während der Materialeextrusion das jeweils aufgetragene Bauteilmaterial der einzelnen Schichten 2 unmittelbar beim Auftrag bereits mit dem Laserstrahl 3 bearbeitet wird. Die Bewegungsrichtung der Extrusionsdüse 2 ist mit dem Pfeil angedeutet.

[0020] Die für die Fertigung gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren erforderlichen Systeme bzw. Einrichtungen können in unterschiedlicher Weise angeordnet werden. So zeigt **Fig. 3** ein erstes Beispiel für eine mögliche 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 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 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 gekrümmten Pfeil in der Figur angedeutet ist.

[0021] 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 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.

[0022] **Fig. 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 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 bearbeitet werden. Vorzugsweise sind jedoch wenigstens zwei sich gegenüber liegende Lasereinrichtungen in dieser Anordnung vorhanden, um die jeweils aufge-

brachte Schicht von beiden Seitens gleichzeitig bearbeiten zu können.

[0023] Die in den **Fig. 3** und **Fig. 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 Extrusionseinrichtung variieren.

Bezugszeichenliste

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

Patentansprüche

1. Verfahren zur additiven Fertigung von Bauteilen mittels Materialeextrusion, bei dem die Bauteile (1) schichtweise aus einem Bauteilmaterial aufgebaut werden, das in viskosem Zustand Schicht für Schicht auf einem Träger (10) aufgetragen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass 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 wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die seitliche Begrenzung der Schicht (8) durch den Laserstrahl (3) wenigstens zum Teil geformt und/oder abgetragen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, 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 Unebenheiten an Oberflächen des Bauteils (1) erreicht wird, die durch den schichtweisen Aufbau verursacht sind.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **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 Bauteils (1) geglättet werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserstrahl (3) unter einem Winkel von $< 45^\circ$, vorzugsweise $< 10^\circ$, zu einer Schichtebene der Schicht (8) auf die seitliche Begrenzung der Schicht (8) gerichtet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fertigung der Bauteile (1) mit einer Anlage zur Materialeextrusion erfolgt, in die ein oder mehrere Lasereinrichtungen (4, 5) zur Erzeugung des einen oder der mehreren Laserstrahlen (3) integriert sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bearbeitung mit wenigstens zwei von gegenüberliegenden Seiten eingestrahnten Laserstrahlen (3) erfolgt, die auf gegenüberliegende seitliche Begrenzungen der Schicht (8) gerichtet werden.

9. Anordnung zur additiven Fertigung von Bauteilen mittels Materialeextrusion, bei der die Bauteile (1) schichtweise aus einem Bauteilmaterial aufgebaut werden, mit

- einer Extrusionseinrichtung (2, 6), durch die das Bauteilmaterial in viskosem Zustand Schicht für Schicht auf einem Träger (10) auftragbar ist, und
- einer oder mehreren Laserbearbeitungseinrichtungen (4, 5), die so angeordnet und ausgebildet sind, dass sie einen oder mehrere Laserstrahlen (3) synchron zum Auftrag durch die Extrusionseinrichtung (2, 6) seitlich auf das jeweils als Schicht aufgetragene Bauteilmaterial in noch viskosem Zustand richten.

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 Winkel von $< 45^\circ$, vorzugsweise $< 10^\circ$, zu einer Schichtebene der Schicht (8) auf die seitliche Begrenzung der Schicht (8) richten 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 die Laserstrahlen (3) gleichzeitig von gegenüberliegenden Seiten auf gegenüberliegende seitliche Begrenzungen der Schicht (8) richten.

12. Anordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Extrusionseinrichtung (2, 6) eine Kinematik (6) aufweist, an der auch die eine oder die mehreren Lasereinrichtungen (4, 5) befestigt sind.

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 Extrusionseinrichtung (2, 6) angeordnet sind.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

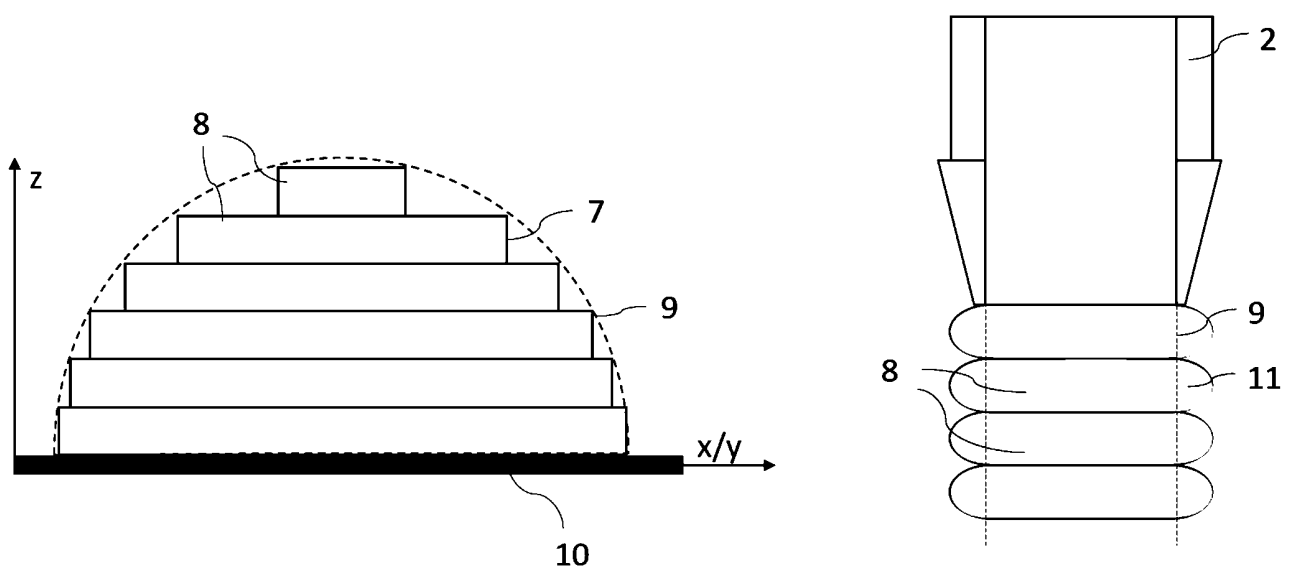


Fig. 1

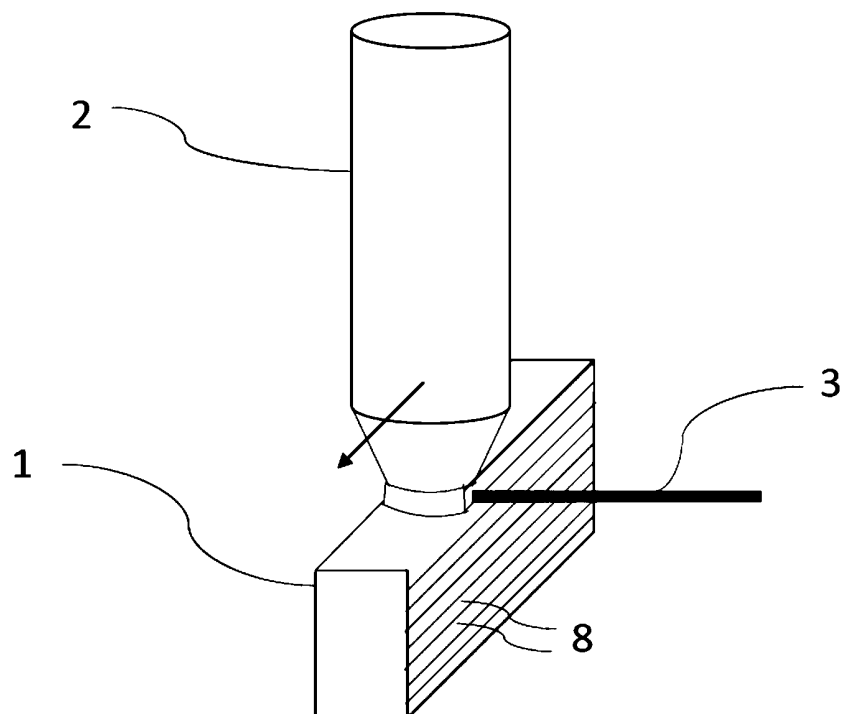


Fig. 2

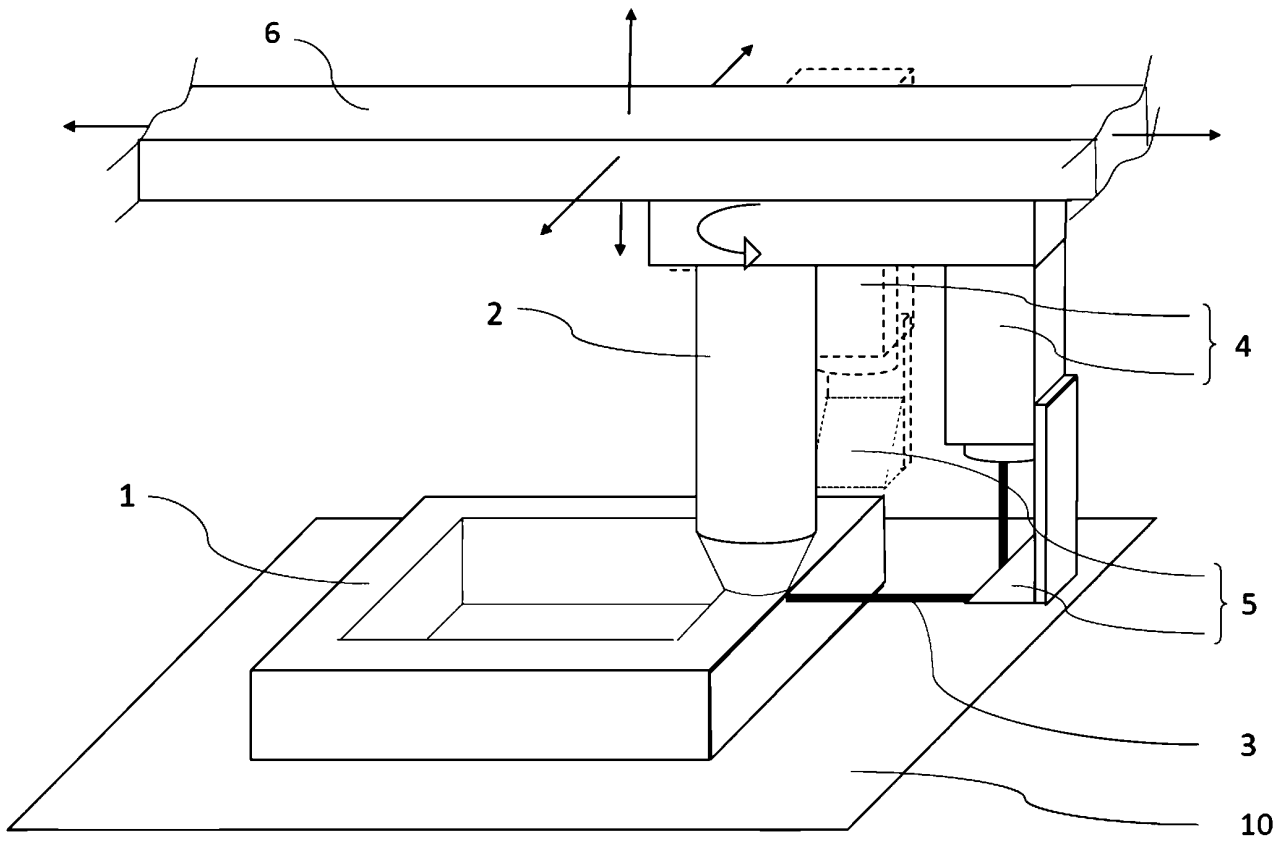


Fig. 3

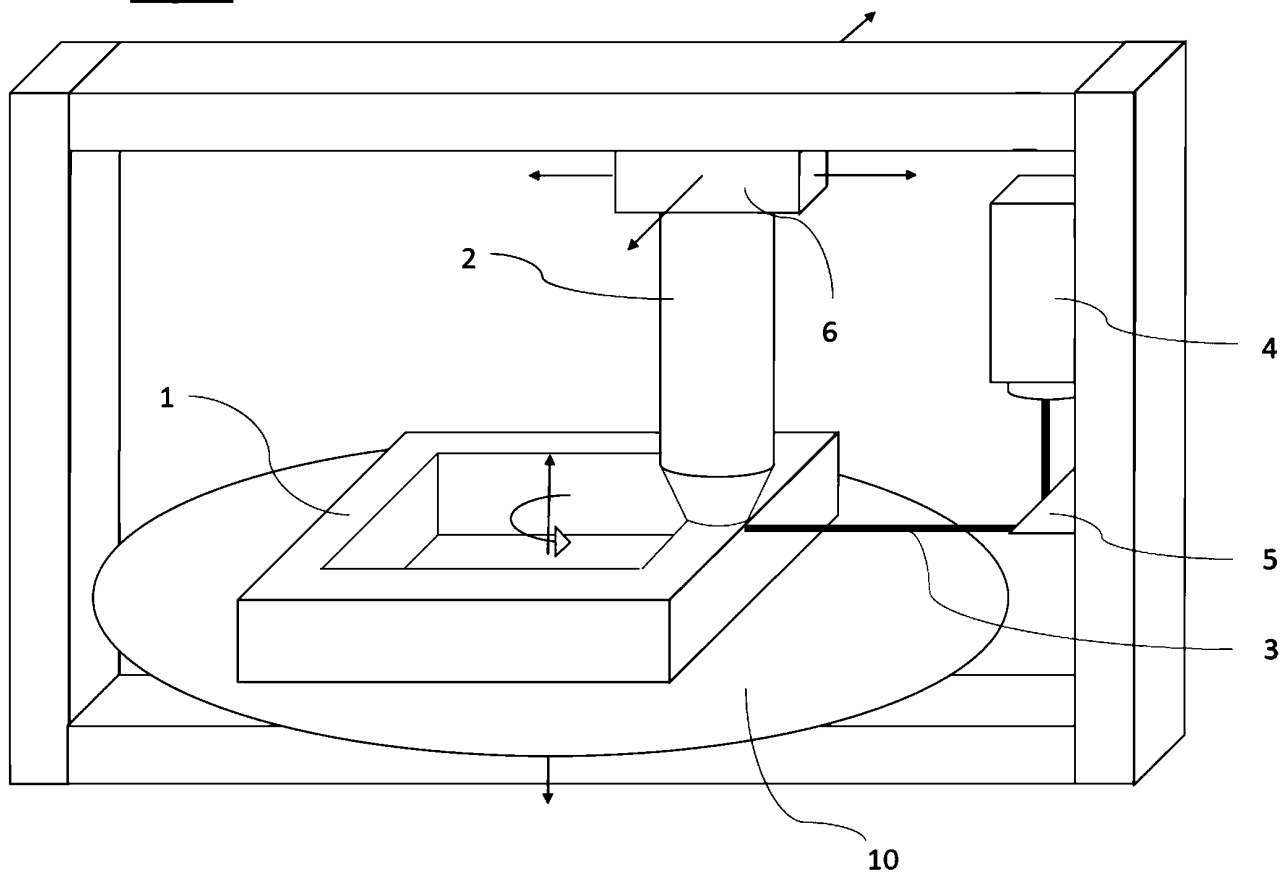


Fig. 4