



(10) **DE 10 2019 124 856 A1** 2021.03.18

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 124 856.6**

(22) Anmeldetag: **16.09.2019**

(43) Offenlegungstag: **18.03.2021**

(51) Int Cl.: **B23K 37/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80686 München,  
DE; IQ evolution GmbH, 52074 Aachen, DE**

(72) Erfinder:

**Kelbassa, Jana, 52072 Aachen, DE; Gasser,  
Andres, Dr., 52066 Aachen, DE; Ebert, Thomas,  
Dr., 52223 Stolberg, DE; Kostelnik, Bastian, 52066  
Aachen, DE**

(74) Vertreter:

**FARAGO Patentanwalts- und  
Rechtsanwalts-gesellschaft mbH, 80538 München,  
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

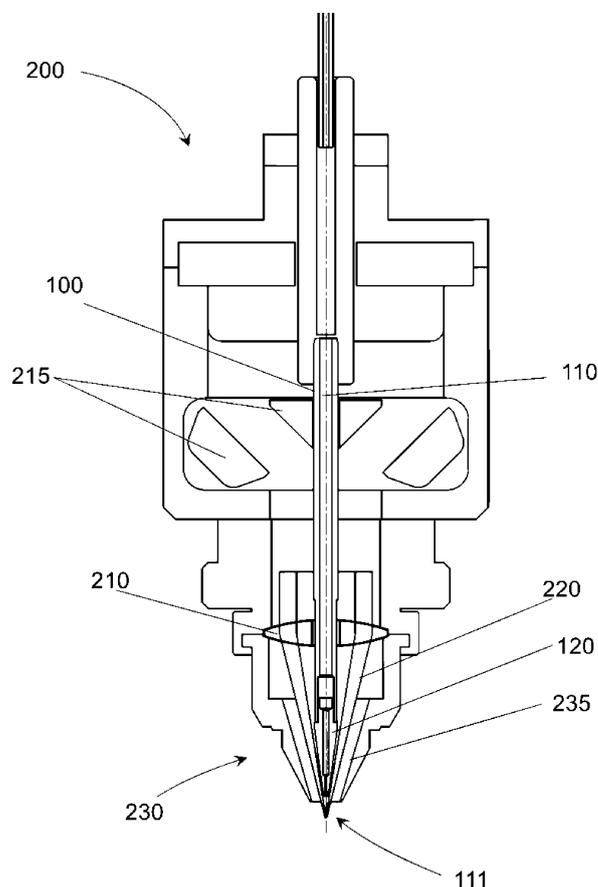
DE	10 2007 018 400	B4
DE	41 29 239	A1
DE	197 44 281	A1
DE	10 2005 058 172	A1
US	2017 / 0 252 865	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Werkstoffzuführungsvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Werkstoffzuführungsvorrichtung. Die erfinderische Werkstoffzuführungsvorrichtung zur Verwendung in einer Materialbearbeitungsvorrichtung weist einen Werkstoffzuführungskanal auf, wobei der Werkstoffzuführungskanal ein Austrittsende aufweist, das im Betrieb der Werkstoffzuführungsvorrichtung zu einer Bearbeitungsstelle weist, und ist dadurch gekennzeichnet, dass die Werkstoffzuführungsvorrichtung mindestens einen Mikrokanal aufweist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Werkstoffzuführungsvorrichtung. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Werkstoffzufuhr für Materialbearbeitungsverfahren, beispielsweise für die Zuführung eines Zusatzwerkstoffs.

**[0002]** Materialbearbeitungsverfahren können beispielsweise Lasermaterialbearbeitungsverfahren sein. Bei vielen Lasermaterialbearbeitungsverfahren (z. B. Schneiden, Schweißen, Auftragsschweißen, Löten) muss Werkstoff als solcher oder als Zusatzwerkstoff in die Bearbeitungsstelle gebracht werden, um entweder zusätzliches Material bereitzustellen oder um den Prozess durch Gase zu beeinflussen. Zu diesen Verfahren gehören u. a. Laserlöten (Hart- und Weichlöten), Kunststoffschweißen, Schweißen metallischer Werkstoffe, Aufbringen von Schichten aus Metall, Keramik oder Kunststoff, Generieren von Strukturen aus Metall, Kunststoff oder Keramik, Laserstrahlschneiden, Laserstrahlhärten, Laserstrahllegieren, Laserstrahldispersieren, um die wesentlichen zu nennen. Die Verwendung von Laserstrahlen in dem Materialbearbeitungsverfahren ist allerdings nicht zwingend erforderlich, genauso sind unter Materialbearbeitungsverfahren auch beispielsweise Lichtbogenschweißverfahren zu subsumieren.

**[0003]** Werkstoff als solcher muss beispielsweise bei generativen Fertigungsverfahren zugeführt werden. Hier und im Folgenden werden die Begriffe Werkstoff und Zusatzwerkstoff synonym verwendet und bezeichnet in jedem Fall an eine Bearbeitungsstelle zuzuführenden oder zugeführten Werkstoff. Der Werkstoff kann in fester oder flüssiger Form oder als Gas zugeführt werden. In fester Form liegt der Werkstoff meist als Draht oder Pulver vor.

**[0004]** Materialbearbeitungsvorrichtungen zur Durchführung von Materialbearbeitungsverfahren sind bekannt. Diese können mindestens eine Energieerzeugungsvorrichtung, beispielsweise einen Laser sowie Anschlüsse für Kühlmedien und Schutzgas sowie Führungsvorrichtungen für diese Medien und weiterhin eine Zuführungsvorrichtung für den der Bearbeitungsstelle zuzuführenden Werkstoff aufweisen. Solche Vorrichtungen weisen üblicherweise an ihrer der Bearbeitungsstelle zugewandten Seite einen Bearbeitungskopf mit einer düsenähnlichen Geometrie auf. Da durch die düsenähnliche Geometrie des Bearbeitungskopfes üblicherweise Schutzgas an die Bearbeitungsstelle zuführbar ist, wird dieses Teil des Bearbeitungskopfes auch Schutzgasdüse genannt. Es sind auch Materialbearbeitungsvorrichtungen bekannt, bei denen der Werkstoff von der Seite zugeführt wird. Die hierzu benötigte Anordnung ist jedoch in der Nähe der Bearbeitungsstelle aufgrund ihrer Baugröße recht störend. Außerdem wird hierdurch die Anordnung asym-

metrisch, so dass bei der Verfolgung einer Kontur eines Werkstücks bei Änderung der Vorschubrichtung eine Drehung des Bearbeitungskopfes, aufweisend eine Werkstoffzuführungsvorrichtung, eine Optik zur Strahlführung und -formung, evtl. einer Kühlvorrichtung und evtl. einer Schutzgaszuführungsvorrichtung, notwendig wird. Anderenfalls ist der Bearbeitungsprozess richtungsabhängig.

**[0005]** Soll der Werkstoff zentral, d.h. axial zur Längsachse des Bearbeitungskopfes, zugeführt werden, muss bei Verwendung eines oder mehrerer Laserstrahlen der Laserstrahl oder die Laserstrahlen so aufgeteilt werden, dass die zentrale Achse für die Werkstoffzuführung frei wird bzw. bleibt. Das zugeführte Material muss dabei an die Bearbeitungsstelle, d.h. die Stelle, an die der Laserstrahl bzw. die Laserstrahlen auf das Substrat auftrifft bzw. auftreffen, zugeführt werden. Üblicherweise weisen entsprechende Bearbeitungsköpfe eine Düsenform auf, wobei der zugeführte Werkstoff als auch der Laserstrahl sowie evtl. zuzuführendes Schutzgas und eine eventuelle Kühlmedienführung durch den Bearbeitungskopf geleitet wird. Dabei müssen die Komponenten so ausgestaltet und der Laserstrahl bzw. die Laserstrahlen so geführt sein, dass die Strahlführung nicht beeinträchtigt, insbesondere der Strahl oder die Strahlen nicht abgeschattet werden. Aus dem deutschen Patent DE 10 2007 018 400 B4 ist ein optisches System und ein entsprechender Bearbeitungskopf bekannt, mit der der Werkstoff axial an die Bearbeitungsstelle führbar ist, während der Laserstrahl ringförmig aufgeteilt und koaxial an die Bearbeitungsstelle führbar ist.

**[0006]** Während der genannten Lasermaterialbearbeitungsprozesse erwärmt sich die Werkstoffzuführungsvorrichtung durch Streustrahlung aus der Optik, Wärmestrahlung aus dem Prozess und über reflektierte Laserstrahlung. Soll die Lasermaterialbearbeitung auch an schlecht zugänglichen Stellen eines Werkstücks durchgeführt werden, muss die Düse entsprechend klein ausgeführt werden. Die Begrenzung des verfügbaren Bauraums im Bearbeitungskopf führt üblicherweise dazu, dass die axiale Materialzufuhr ohne direkte Kühlung betrieben werden muss. Die Erwärmung der Werkstoffzufuhreinrichtung führt zum Prozessabbruch durch Ausfall des Systems. Längere Bearbeitungszeiten und der Einsatz höherer Laserleistungen, die bspw. für die Erhöhung der Auftragsrate erforderlich wären, sind hiermit nicht möglich. Beispielsweise tritt bei Laserleistungen kleiner 1000 W und bei Prozesszeiten größer 15 min eine Überhitzung der Werkstoffzufuhreinrichtung auf.

**[0007]** Zur Durchführung des Laserauftragschweißens wird heute der Prozess regelmäßig unterbrochen und es werden Abkühlzeiten eingehalten, um eine Beschädigung der Werkstoffzufuhreinrichtung und / oder eine Überhitzung der Werkstoffzu-

föhreinrichtung und damit verbundenen Problemen bei der Werkstoffzuführung zu vermeiden. Alternativ kann der Arbeitsabstand zwischen Materialaustrittsöffnung und Bearbeitungsebene vergrößert werden, was aber zu einer ungenaueren Führung des Zusatzmaterials zum Schmelzbad und daraus resultierend zu Instabilitäten im Prozess führt. Für drahtförmige Materialien mit einem Durchmesser kleiner ca. 0,8 mm beispielsweise ist eine Vergrößerung des Arbeitsabstandes nicht erwünscht, da die genaue Führung und Positionierung des Materials zum Schmelzbad nicht mehr gewährleistet ist.

**[0008]** Es ist bekannt, Schweißbrenner für Lichtbogenprozesse mit einer Wasserkühlung auszustatten. Die durch die integrierte Wasserkühlung bedingten Abmessungen von ca. 25 mm Außendurchmesser und mehr lassen jedoch keine Integration in einen miniaturisierten Bearbeitungskopf mit axialer Werkstoffzufuhr zu, bzw. führen konstruktiv zu einer wesentlichen Vergrößerung des Bearbeitungskopfes mit einer deutlich verschlechterten Zugänglichkeit, was unerwünscht ist. Durch Nutzung konventioneller Fertigungsverfahren lässt sich keine Wasserkühlung in Werkstoffzufuhrdüsen mit einem Außendurchmesser von 8 mm und weniger integrieren.

**[0009]** Aufgabe der Erfindung ist es, eine Werkstoffzuführungsvorrichtung zur Durchführung eines Lasermaterialbearbeitungsverfahrens anzugeben, die die beschriebenen Nachteile des Stands der Technik minimiert. Eine weitere Aufgabe ist es, ein Herstellverfahren für eine solche Werkstoffzuführungsvorrichtung anzugeben.

**[0010]** Diese erste Aufgabe der Erfindung wird mit einer Werkstoffzuführungsvorrichtung gemäß dem unabhängigen Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterentwicklungen der Werkstoffzuführungsvorrichtung ergeben sich aus den Ansprüchen 2 bis 10. Die zweite Aufgabe der Erfindung wird mit einem Herstellverfahren gemäß dem nebengeordneten Anspruch 11 gelöst. Eine vorteilhafte Weiterbildung des Herstellverfahrens ergibt sich aus Anspruch 12.

**[0011]** Die erfinderische Werkstoffzuführungsvorrichtung zur Verwendung in einer Materialbearbeitungsvorrichtung weist einen Werkstoffzuführungskanal auf, wobei der Werkstoffzuführungskanal ein Austrittsende aufweist, das im Betrieb der Werkstoffzuführungsvorrichtung zu einer Bearbeitungsstelle weist, und ist dadurch gekennzeichnet, dass die Werkstoffzuführungsvorrichtung mindestens einen Mikrokanal aufweist.

**[0012]** Begrifflich sei dazu erläutert:

Unter einer Werkstoffzuführungsvorrichtung zur Verwendung in einer Materialbearbeitungsvorrichtung wird in dieser Schrift eine Vorrichtung verstanden, über die ein Werkstoff einer Bear-

beitungsstelle auf einem Substrat zuführbar ist. Insbesondere ist die Werkstoffzuführungsvorrichtung in einer Materialbearbeitungsvorrichtung verwendbar, die ein Lasermaterialbearbeitungsverfahren ermöglicht.

Materialbearbeitungsvorrichtungen zur Durchführung von Materialbearbeitungsverfahren sind bekannt. Diese können mindestens eine Energieerzeugungsvorrichtung, beispielsweise einen Laser sowie Anschlüsse für Kühlmedien und Schutzgas sowie Führungsvorrichtungen für diese Medien und Strahlen und weiterhin eine Zuführungsvorrichtung für den der Bearbeitungsstelle zuzuführenden Werkstoff aufweisen. Solche Vorrichtungen weisen üblicherweise an ihrem der Bearbeitungsstelle zugewandten Seite einen Bearbeitungskopf mit einer Schutzgasdüse auf. Es sind auch Materialbearbeitungsvorrichtungen bekannt, bei denen der Werkstoff von der Seite zugeführt wird. Bei einer solchen seitlichen Zuführung weist die Zuführungsachse einen Winkel von mehr als 0° und weniger als 90° zur Achse einer Strahlführung auf. Die hierzu benötigte Anordnung ist jedoch in der Nähe der Bearbeitungsstelle aufgrund ihrer Baugröße recht störend. Außerdem wird hierdurch die Anordnung asymmetrisch, so dass bei der Verfolgung einer Kontur eines Werkstücks bei Änderung der Vorschubrichtung eine Drehung des Bearbeitungskopfes, aufweisend eine Werkstoffzuführungsvorrichtung, eine Optik zur Strahlführung und -formung, evtl. einer Kühlvorrichtung und evtl. einer Schutzgaszuführungsvorrichtung, notwendig wird. Anderenfalls ist der Bearbeitungsprozess richtungsabhängig.

**[0013]** Soll der Werkstoff zentral, d.h. axial zur Längsachse des Bearbeitungskopfes, zugeführt werden, muss bei Verwendung eines oder mehrerer Laserstrahlen der Laserstrahl oder die Laserstrahlen so aufgeteilt werden, dass die zentrale Achse für die Werkstoffzuführung frei wird. Das zugeführte Material muss dabei an die Bearbeitungsstelle, d.h. die Stelle, an die der Laserstrahl bzw. die Laserstrahlen auf das Substrat auftrifft bzw. auftreffen, zugeführt werden. Üblicherweise weisen entsprechende Bearbeitungsköpfe eine Düsenform, d.h. eine Schutzgasdüse, auf, wobei der zugeführte Werkstoff als auch der Laserstrahl sowie evtl. zuzuführendes Schutzgas und eine eventuelle Kühlmedienführung durch den Bearbeitungskopf und insbesondere die Schutzgasdüse geleitet wird. Dabei müssen die Komponenten so ausgestaltet und der Laserstrahl bzw. die Laserstrahlen so geführt sein, dass die Strahlführung nicht beeinträchtigt, insbesondere der Strahl oder die Strahlen nicht abgeschattet werden.

**[0014]** Der Begriff Lasermaterialbearbeitungsverfahren ist dabei in seiner breitesten Auslegung zu verstehen und umfasst alle Materialbearbeitungsverfah-

ren wie beispielsweise Schneiden, Schweißen, Auftragsschweißen, Löten, bei denen ein Laserstrahl eingesetzt wird. Laserstrahlen sind elektromagnetische Wellen mit hoher Intensität, oft sehr engem Frequenzbereich, scharfer Bündelung des Strahls und großer Kohärenzlänge. Der Werkstoff kann in fester oder flüssiger Form oder als Gas zugeführt werden. In fester Form liegt der Werkstoff meist als Draht oder Pulver vor.

**[0015]** Unter dem Begriff Werkstoffzuführungskanal wird in dieser Schrift ein Kanal verstanden, durch den der Werkstoff der Bearbeitungsstelle zuführbar ist. Der Werkstoffzuführungskanal kann einen beliebigen Querschnitt, auch einen Ringquerschnitt, aufweisen.

**[0016]** Unter dem Begriff optischen Kanal wird in dieser Schrift insbesondere ein Kanal verstanden, durch den ein Laserstrahl der Bearbeitungsstelle zuführbar ist. Der optische Kanal kann einen beliebigen Querschnitt, auch einen Ringquerschnitt aufweisen.

**[0017]** Die Bearbeitungsstelle ist diejenige Stelle auf dem Substrat, an der die Bearbeitung durchgeführt wird. Die Bearbeitungsstelle kann dabei punktförmig sein oder einen Bereich darstellen.

**[0018]** Unter einem Mikrokanal soll in dieser Schrift ein rohrförmiger Kanal mit einem sehr kleinen Querschnitt, beispielsweise von  $10^{-2}$  mm<sup>2</sup>, verstanden werden. Der Mikrokanal kann teilweise oder komplett ring-, ellipsen-, vieleck-, spiral- oder auch geradförmig verlaufen. In dieser Schrift wird auch der Plural, Mikrokanäle, verwendet, wobei hiervon sowohl verschiedene, nicht miteinander verbundene Mikrokanäle, als auch verschiedene, miteinander verbundene Mikrokanäle oder auch verschiedene Windungen eines spiralförmigen Mikrokanals umfasst sein sollen. Der Mikrokanal kann auch als doppelwandiger Kanal, beispielsweise in Form eines Kanals in einem Kanal und / oder als spiralförmiger Kanal ausgeführt sein.

**[0019]** Generell sei darauf hingewiesen, dass im Rahmen des hier vorliegenden Dokuments die unbestimmten Zahlwörter „ein“, „zwei“ usw. nicht als „genau-ein“, „genau zwei“ usw. verstanden werden sollen, sondern im Normalfall als unbestimmte Artikel. Eine Aussage der Art „ein ...“, „zwei ...“ usw. ist daher als „mindestens ein ...“, „mindestens zwei ...“ usw. zu verstehen, sofern sich nicht aus dem jeweiligen Kontext ergibt, dass etwa nur „genau ein“, „genau zwei“ usw. gemeint sind. Insoweit im unabhängigen Anspruch ein „mindestens ein“ aufgenommen ist, so bedeutet dies nicht, dass mit der Verwendung von „ein ...“, „zwei ...“ usw. in den Unteransprüchen zwingend „genau ein“, „genau zwei“ usw. gemeint ist.

**[0020]** Im Rahmen der hier vorliegenden Patentanmeldung sei der Ausdruck „insbesondere“ immer so zu verstehen, dass mit diesem Ausdruck ein optiona-

les, bevorzugtes Merkmal eingeleitet wird. Der Ausdruck ist nicht als „und zwar“ und nicht als „nämlich“ zu verstehen.

**[0021]** In einer bevorzugten Ausführungsform weist der mindestens eine Mikrokanal zumindest an einer Stelle eine Wandstärke von weniger als 0,5 mm, bevorzugt weniger als 0,3 mm und besonders bevorzugt weniger als 0,2 mm, auf. Der Mikrokanal ist durch eine Wand begrenzt. Diese Wand kann bestehen zur Außenseite der Werkstoffzuführungsvorrichtung oder zu einem weiteren Kanal. Dieser weitere Kanal kann ein weiterer Mikrokanal, ein Werkstoffzuführungskanal oder ein optischer Kanal sein. Unter dem weiteren Mikrokanal ist auch beispielsweise eine weitere Windung eines spiralförmigen Mikrokanals zu verstehen.

**[0022]** Durch die geringe Wandstärke des Mikrokanals ist eine sehr kleine Bauform der Werkstoffzuführungsvorrichtung möglich, bei der dennoch beispielsweise eine Temperierung realisiert ist.

**[0023]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der mindestens eine Mikrokanal mit einer Kühlmittelversorgung verbunden. Die Kühlmittelversorgung kann beispielsweise eine Pumpe mit einem Temperiergerät sein, so dass für eine effektive Temperierung ein Temperiermedium, beispielsweise Wasser oder Temperieröl, mit einer definierten Temperatur und einem definierten Volumenstrom und/oder Druck durch den mindestens einen Mikrokanal gefördert werden kann.

**[0024]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist der mindestens eine Mikrokanal eine in ihm eingebaute Stütze auf. Die Stütze kann dabei für eine Turbulenz bzw. eine Erhöhung der Turbulenz im den Mikrokanal durchströmenden Temperiermedium und damit für eine optimierte Wärmeübertragung sorgen. Darüber hinaus kann die Stütze auch zur mechanischen Stabilität des Mikrokanals und der Werkstoffzuführungsvorrichtung beitragen.

**[0025]** Hierbei hat es sich als besonders bevorzugt erwiesen, wenn der mindestens eine Mikrokanal einen Temperiermittelvorlauf und einen Temperiermittelrücklauf sicherstellt. Hierdurch wird die Effektivität der Temperierung der Werkstoffzuführungsvorrichtung erhöht.

**[0026]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weist die Werkstoffzuführungsvorrichtung einen Bereich mit einem Gewinde zur Aufnahme und Fixierung einer Düsen Spitze auf, wobei die Werkstoffzuführungsvorrichtung zumindest bis auf den Bereich des Gewindes mit Mikrokanälen durchzogen ist. Durch die Ausdehnung des mit Mikrokanälen durchzogenen Bereichs der Werkstoffzuführungsvorrichtung wird die Temperierung der Werkstoffzuführungsvorrichtung optimiert. Durch das Gewinde kann

die verschleißbehaftete Düsen Spitze leicht ausgetauscht werden.

**[0027]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist in mindestens einem Mikrokanal ein Messsensor vorgesehen. Die Mikrokanäle können nicht nur der Durchströmung mit einem Temperiermedium dienen, sondern in ihnen können auch Messsensoren eingebracht werden. Solche Messsensoren können beispielsweise Temperatursensoren zur Temperaturüberwachung der Materialzufuhr, Lichtleitfasern zur Erfassung der Schmelzbadtemperatur und/oder zur Prozessregelung, Sensoren für eine Abstandsmessung, beispielsweise eine Lichtleitfaser für OCT (Optische Kohärenztomografie, ein bildgebendes Verfahren, um 2- und 3-dimensionale Aufnahmen aus streuenden Materialien in Mikrometerauflösung zu erhalten), oder Messsensoren zur Überwachung der Förderung der Materialzufuhr sein. Durch das Einbringen solcher Messsensoren können Prozessparameter sehr nah an interessierende Stellen im Inneren der Werkstoffzuführungsvorrichtung und/oder sehr nah an der Bearbeitungsstelle aufgenommen werden, ohne die Baugröße der Werkstoffzuführungsvorrichtung wesentlich zu verändern.

**[0028]** Zusätzlich oder alternativ kann in mindestens einem Mikrokanal eine Zusatzmaterialbeeinflussungsvorrichtung vorgesehen sein. Eine solche Zusatzmaterialbeeinflussungsvorrichtung kann beispielsweise eine Vorrichtung zur Vorwärmung des Zusatzmaterials, beispielsweise eine induktive Vorwärmereinrichtung, sein. Durch eine Vorwärmung des zuzuführenden Werkstoffs kann beispielsweise die Auftragsrate von Werkstoff, beispielsweise von Zusatzmaterial, erhöht werden. Durch das Einbringen einer Werkstoffbeeinflussungsvorrichtung in einen Mikrokanal kann die Zusatzmaterialbeeinflussungsvorrichtung beispielsweise sehr nah an den Werkstoffzuführungskanal, insbesondere sehr nah an den Werkstoffzuführungskanal und sehr nah an die Bearbeitungsstelle gebracht werden, so dass sehr gezielt und sehr genau das Zusatzmaterial beeinflussbar ist.

**[0029]** Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn das Herstellungsverfahren für die Werkstoffzuführungsvorrichtung aus der Verfahrensklasse der additiven Fertigungsverfahren stammt. Additive Fertigung bezeichnet einen Prozess, bei dem auf der Basis von digitalen 3D-Konstruktionsdaten durch das Ablagern von Material schichtweise ein Bauteil aufgebaut wird. Der Begriff „3D-Druck“ wird heute vielfach als Synonym für die Additive Fertigung verwendet. Additive Fertigung beschreibt jedoch besser, dass sich das Verfahren deutlich von konventionellen, abtragenden Fertigungsverfahren unterscheidet. Anstatt zum Beispiel ein Werkstück aus einem festen Block heraus zu fräsen, baut die Additive Fertigung Bauteile Schicht für Schicht aus Werkstoffen auf, die beispielsweise als feines Pulver oder Draht vorliegen.

Als Materialien sind unterschiedliche Metalle, Kunststoffe und Verbundwerkstoffe verfügbar. Durch den schichtweisen Aufbau der Werkstoffzuführungsvorrichtung lassen sich Geometrien, insbesondere Mikrokanäle, herstellen, die mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht oder wenn überhaupt nur mit großem Aufwand herstellen lassen.

**[0030]** Als besonders vorteilhafte Technologie für das Herstellungsverfahren hat sich die Laser-Powder-Bed-Fusion-(LPBF-)Technologie erwiesen. Bei der LPBF-Technologie wird der zu verarbeitende Werkstoff in Pulverform in einer dünnen Schicht auf einer Grundplatte aufgebracht. Der pulverförmige Werkstoff wird mittels Laserstrahlung lokal vollständig umgeschmolzen und bildet nach der Erstarrung eine feste Materialschicht. Anschließend wird die Grundplatte um den Betrag einer Schichtdicke abgesenkt und erneut Pulver aufgetragen. Dieser Zyklus wird solange wiederholt, bis alle Schichten umgeschmolzen sind. Das fertige Bauteil wird vom überschüssigen Pulver gereinigt, nach Bedarf bearbeitet oder sofort verwendet. Die für den Aufbau des Bauteils typischen Schichtstärken bewegen sich für alle Materialien zwischen 15 und 500 µm. Die Daten für die Führung des Laserstrahls werden mittels einer Software aus einem 3D-CAD-Körper erzeugt. Im ersten Berechnungsschritt wird das Bauteil in einzelne Schichten unterteilt. Im zweiten Berechnungsschritt werden für jede Schicht die Bahnen erzeugt, die der Laserstrahl abfährt. Um die Kontaminierung des Werkstoffs mit Sauerstoff zu vermeiden, findet der Prozess üblicherweise unter Schutzgasatmosphäre mit Argon oder Stickstoff statt. Durch LPBF gefertigte Bauteile zeichnen sich durch große spezifische Dichten > 99 % aus. Dies gewährleistet, dass die mechanischen Eigenschaften des generativ hergestellten Bauteils weitgehend denen des Grundwerkstoffs entsprechen.

**[0031]** Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass alle angegebenen Zahlenwerte nicht als scharfe Grenzen zu verstehen sein sollen, sondern vielmehr in ingenieurmäßigem Maßstab über- oder unterschritten werden können sollen, ohne den beschriebenen Aspekt der Erfindung zu verlassen.

**[0032]** Weitere Vorteile, Besonderheiten und zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Darstellung bevorzugter Ausführungsbeispiele anhand der Abbildungen.

**[0033]** Es zeigen:

**Fig. 1** einen Bearbeitungskopf einer Materialbearbeitungsvorrichtung,

**Fig. 2** eine erfindungsgemäße Werkstoffzuführungsvorrichtung in einer dreidimensionalen Darstellung,

**Fig. 3** eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Werkstoffzuführungsvorrichtung im Längsschnitt,

**Fig. 4** eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Werkstoffzuführungsvorrichtung im Längsschnitt,

**Fig. 5** eine Ausschnittvergrößerung einer erfindungsgemäßen Werkstoffzuführungsvorrichtung aus **Fig. 4**.

**[0034]** **Fig. 1** zeigt einen Bearbeitungskopf **200** einer Materialbearbeitungsvorrichtung. Der Bearbeitungskopf **200** weist eine erfindungsgemäße Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** mit einem Werkstoffkanal **110** auf. Die erfinderische Werkstoffzuführungsvorrichtung zur Verwendung in einer Materialbearbeitungsvorrichtung weist einen Werkstoffzuführungskanal **100** auf, wobei der Werkstoffzuführungskanal **100** ein Austrittsende **111** aufweist, das im Betrieb der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** zu einer Bearbeitungsstelle weist. Über die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** ist ein Werkstoff einer Bearbeitungsstelle auf einem Substrat zuführbar. Die Materialbearbeitungsvorrichtung dient der Durchführung von Materialbearbeitungsverfahren, beispielsweise einem Laserschweißverfahren. Der Bearbeitungskopf **200** weist eine Führungsvorrichtung für Laserstrahlen auf. Diese Führungsvorrichtung weist Umlenkeinrichtungen **215** für Laserstrahlen, beispielsweise Spiegel und/oder Prismen, eine Fokussierlinse **210** und weiterhin eine Schutzgasdüse **230** mit einem Schutzgaskanal **235** auf. Durch den Schutzgaskanal **235** wird Schutzgas der Bearbeitungsstelle zugeführt. Das Schutzgas verhindert eine Verzunderung des im Moment der Bearbeitung heißen Substrats bzw. zugeführten Werkstoffs, indem es die Bearbeitungsstelle temporäre vom Sauerstoffkontakt abschirmt. In der gezeigten Ausführungsform wird Werkstoff zentral, d.h. axial zur Längsachse des Bearbeitungskopfes **200**, der Bearbeitungsstelle zugeführt. Dazu muss bei Verwendung eines oder mehrerer Laserstrahlen der Laserstrahl oder die Laserstrahlen so aufgeteilt werden, dass die zentrale Achse für die Werkstoffzuführung frei wird bzw. bleibt. Dabei müssen alle Komponenten n dem Bearbeitungskopf, also insbesondere auch die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** so ausgestaltet und der Laserstrahl bzw. die Laserstrahlen in einem optischem Kanal **220**, in der gezeigten Ausführungsform in einem Laserstrahlring **220** so geführt sein, dass die Strahlführung nicht beeinträchtigt, insbesondere der Strahl oder die Strahlen nicht abgeschattet werden. Der Werkstoffzuführungskanal **110** weist an seinem der Bearbeitungsstelle gegenüberliegenden Ende eine austauschbare Werkstoffdüse (nicht gezeigt) auf. Diese Werkstoffdüse kann beispielsweise in den Werkstoffzuführungskanal **110** eingeschraubt sein. Im Betrieb tritt an dem der Bearbeitungsstelle gegenüberliegenden Ende des Werkstoffzuführungskanals **110** Ver-

schleiß, u.a. durch die thermische Belastung, der dieses Ende des Werkstoffzuführungskanals **110** im Betrieb des Bearbeitungskopfes **200** ausgesetzt ist, auf. Durch die austauschbare Werkstoffdüse kann diese einfach ausgetauscht werden, wenn der Verschleiß eine kritische Grenze überschreitet. Der Werkstoff kann in fester oder flüssiger Form oder als Gas zugeführt werden. In fester Form liegt der Werkstoff meist als Draht oder Pulver vor. Beispielsweise bei der Zuführung von drahtförmigen Werkstoff kann sich der Verschleiß durch eine Vergrößerung des Durchmessers des Werkstoffzuführungskanals **110** an dem Austrittsende **111** bemerkbar machen, wodurch die Genauigkeit der Drahtführung beeinträchtigt wird.

**[0035]** **Fig. 2** zeigt eine erfindungsgemäße Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** in einer dreidimensionalen Darstellung. Die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** weist einen durchgehenden Werkstoffzuführungskanal **110** auf, durch den der Werkstoff der Bearbeitungsstelle zugeführt wird. Weiterhin weist die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** Medienanschlüsse **130** auf. Über diese Medienanschlüsse **130** kann beispielsweise ein Kühlmedium, beispielsweise Wasser, in die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** eingeleitet bzw. wieder ausgeleitet werden. Dabei befinden sich die Medienanschlüsse **130** an dem im Betrieb des Bearbeitungskopfes **200** der Bearbeitungsstelle gegenüberliegenden Ende der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100**. Weiterhin weist die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** einen Anschluss **120** für eine Werkstoffdüse (nicht gezeigt) auf, die im Betrieb des Bearbeitungskopfes **200** an dem zu der Bearbeitungsstelle hinweisenden Ende der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** einschraubbar angeordnet ist. Weiterhin ist in der Figur ein Verbindungstück **150** zu erkennen, an dem die aus Fertigungsgründen zweiteilig ausgeführte Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** verbunden ist. Die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** ist mittels eines additiven Fertigungsverfahrens hergestellt. Ist die additive Fertigungsanlage in der Größe der herzustellenden Teile limitiert, so kann die die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** in zwei oder mehreren Teilen gefertigt und für den Betrieb an einem oder mehreren Verbindungsstücken **150** zusammengesetzt werden. Die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** kann aber auch einteilig hergestellt werden, sofern eine entsprechende additive Fertigungsanlage zur Verfügung steht.

**[0036]** **Fig. 3** zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** im Längsschnitt. Wie in **Fig. 2** sind Medienanschlüsse **130** und der Anschluss **120** für die Werkstoffdüse zu sehen, wobei auf die Darstellung des Einschraubgewindes aus Übersichtsgründen in der Figur verzichtet wurde. Die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** weist einen durchgehenden Werkstoffzuführungskanal **110** auf. Weiterhin weist die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** mehrere Medienkanäle **131** auf, die

mit den Medienanschlüssen **130** wirkverbunden sind. Beispielsweise kann ein Kühlmedium, wie beispielsweise Wasser, durch einen Medienanschluss **130** in einen Medienkanal **131** eingeleitet werden. Die Medienkanäle **131** sind als Mikrokanäle **131**, d.h. als rohrförmige Kanäle mit einem sehr kleinen Querschnitt, beispielsweise von  $10^{-2}$  mm<sup>2</sup>, ausgeführt. Ein Mikrokanal **131** kann teilweise oder komplett ring-, ellipsen-, vieleck-, spiral- oder auch geradförmig verlaufen. Mehrere Mikrokanäle **131** können sowohl verschiedene, nicht miteinander verbundene Mikrokanäle **131**, als auch verschiedene, miteinander verbundene Mikrokanäle **131** oder auch verschiedene Windungen eines spiralförmigen Mikrokanals **131** umfassen. Ein Mikrokanal **131** kann auch als doppelwandiger Kanal, beispielsweise in Form eines Kanals in einem Kanal und / oder als spiralförmiger Kanal ausgeführt sein. Der Mikrokanal **131** ist durch eine Wand begrenzt. Diese Wand kann bestehen zur Außenseite der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** oder zu einem weiteren Kanal. Dieser weitere Kanal kann ein weiterer Mikrokanal **131**, ein Werkstoffzuführungskanal **110** oder ein optischer Kanal **220** sein. Unter dem weiteren Mikrokanal **131** ist auch beispielsweise eine weitere Windung eines spiralförmigen Mikrokanals **131** zu verstehen. Jeder Mikrokanal **131** kann zumindest an einer Stelle eine Wandstärke von weniger als 0,5 mm, bevorzugt weniger als 0,3 mm und besonders bevorzugt weniger als 0,2mm, aufweisen. Durch die geringe Wandstärke des Mikrokanals **131** ist eine sehr kleine Bauform der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** möglich, bei der dennoch beispielsweise eine Temperierung realisiert ist. Die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** ist zumindest bis auf den Bereich des Gewindes zum Einschrauben der Werkstoffdüse (in der Figur nicht gezeigt) mit Mikrokanälen **131** durchzogen. Durch die Ausdehnung des mit Mikrokanälen **131** durchzogenen Bereichs der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** wird die Temperierung der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** optimiert. Weiterhin ist es auch möglich, in einen oder mehreren Mikrokanäle **131** Messsensoren in die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** nahe an den Werkstoffzuführungskanal **110** einzubringen. Solche Messsensoren können beispielsweise Temperatursensoren zur Temperaturüberwachung der Materialzufuhr, Lichtleitfasern zur Erfassung der Schmelzbadtemperatur und/oder zur Prozessregelung, Sensoren für eine Abstandsmessung, beispielsweise eine Lichtleitfaser für OCT (Optische Kohärenztomografie, ein bildgebendes Verfahren, um 2- und 3-dimensionale Aufnahmen aus streuenden Materialien in Mikrometerauflösung zu erhalten), oder Messsensoren zur Überwachung der Förderung der Materialzufuhr sein. Durch das Einbringen solcher Messsensoren können Prozessparameter sehr nah an interessierende Stellen im Inneren der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** und/oder sehr nah an der Bearbeitungsstelle aufgenommen wer-

den, ohne die Baugröße der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** wesentlich zu verändern.

**[0037]** Zusätzlich oder alternativ kann in mindestens einem Mikrokanal **131** eine Zusatzmaterialbeeinflussungsvorrichtung vorgesehen sein. Eine solche Zusatzmaterialbeeinflussungsvorrichtung kann beispielsweise eine Vorrichtung zur Vorwärmung des Zusatzmaterials, beispielsweise eine induktive Vorwärmereinrichtung, sein. Durch eine Vorwärmung des zuzuführenden Werkstoffs kann beispielsweise die Auftragsrate von Werkstoff, beispielsweise von Zusatzmaterial, erhöht werden. Durch das Einbringen einer Werkstoffbeeinflussungsvorrichtung in einen Mikrokanal **131** kann die Zusatzmaterialbeeinflussungsvorrichtung beispielsweise sehr nah an den Werkstoffzuführungskanal **110**, insbesondere sehr nah an den Werkstoffzuführungskanal **110** und sehr nah an die Bearbeitungsstelle gebracht werden, so dass sehr gezielt und sehr genau das Zusatzmaterial beeinflussbar ist.

**[0038]** Die Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** ist mittels eines additiven Fertigungsverfahrens hergestellt. Durch den schichtweisen Aufbau der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** lassen sich Geometrien wie insbesondere die beschriebenen Mikrokanäle **100** herstellen, die sich mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht oder wenn überhaupt nur mit großem Aufwand herstellen lassen.

**[0039]** Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** im Längsschnitt. Der Mikrokanal **131** weist eine in ihm eingebaute Stütze **132** bzw. eine Vielzahl solcher Stützen **132** auf. Die Stütze **132** kann dabei für eine Turbulenz bzw. eine Erhöhung der Turbulenz im den Mikrokanal **131** durchströmenden Temperiermedium und damit für eine optimierte Wärmeübertragung sorgen. Darüber hinaus kann die Stütze **132** auch zur mechanischen Stabilität des Mikrokanals **131** und der Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** beitragen.

**[0040]** Fig. 5 zeigt eine Ausschnittvergrößerung erfindungsgemäßen Werkstoffzuführungsvorrichtung **100** aus Fig. 4. In dieser Ausschnittvergrößerung sind die Stützen **132** besser zu erkennen. Die Stützen **132** sind auf der Innenseite, d.h. der dem Werkstoffzuführungskanal **110** zugewandten Seite des Mikrokanals **131**, aufgebracht. Die Stützen **132** können aber auch an jeder anderen Stelle innerhalb des Mikrokanals **131** angeordnet sein.

**[0041]** Die hier gezeigten Ausführungsformen stellen nur Beispiele dar und dürfen daher nicht einschränkend verstanden werden. Alternative durch den Fachmann in Erwägung gezogene Ausführungsformen sind gleichermaßen vom Schutzbereich der vorliegenden Erfindung umfasst.

Bezugszeichenliste

<b>100</b>	Werkstoffzuführungsvorrichtung
<b>110</b>	Werkstoffzuführungskanal
<b>111</b>	Austrittsende
<b>120</b>	Anschluss für eine Werkstoffdüse
<b>130</b>	Medienanschluss
<b>131</b>	Medienkanal, Mikrokanal
<b>132</b>	Stütze
<b>150</b>	Verbindungsstück
<b>200</b>	Bearbeitungskopf
<b>210</b>	Fokussierlinse
<b>215</b>	Umlenkeinrichtung
<b>220</b>	Optischer Kanal, Laserstrahlung
<b>230</b>	Schutzgasdüse
<b>235</b>	Schutzgaskanal

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102007018400 B4 [0005]

### Patentansprüche

1. Werkstoffzuführungsvorrichtung zur Verwendung in einer Materialbearbeitungsvorrichtung, wobei die Werkstoffzuführungsvorrichtung mindestens einen Werkstoffzuführungskanal aufweist, wobei der Werkstoffzuführungskanal ein Austrittsende aufweist, das im Betrieb der Werkstoffzuführungsvorrichtung zu einer Bearbeitungsstelle weist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Werkstoffzuführungsvorrichtung mindestens einen Mikrokanal aufweist.

2. Werkstoffzuführungsvorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Werkstoffzuführungsvorrichtung einen zentralen Werkstoffzuführungskanal aufweist.

3. Werkstoffzuführungsvorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Werkstoffzuführungsvorrichtung einen Werkstoffzuführungskanal aufweist, der seitlich mit einem Winkel größer  $0^\circ$  und kleiner  $90^\circ$  zur Achse einer Strahlführung angeordnet ist.

4. Werkstoffzuführungsvorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Mikrokanal zumindest an einer Stelle eine Wandstärke von weniger als 0,5 mm, bevorzugt weniger als 0,3 mm und besonders bevorzugt weniger als 0,2 mm, aufweist.

5. Werkstoffzuführungsvorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Mikrokanal mit einer Kühlmittelversorgung verbunden ist.

6. Werkstoffzuführungsvorrichtung gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Mikrokanal eine in ihm eingebaute Stütze aufweist.

7. Werkstoffzuführungsvorrichtung gemäß einem Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Mikrokühlkanal einen Temperiermittelvorlauf und einen Temperiermittelrücklauf sicherstellt.

8. Werkstoffzuführungsvorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Werkstoffzuführungsvorrichtung einen Bereich mit einem Gewinde zur Aufnahme und Fixierung einer Düsenspitze aufweist, wobei die Werkstoffzuführungsvorrichtung zumindest bis auf den Bereich des Gewindes mit Mikrokanälen durchzogen ist.

9. Werkstoffzuführungsvorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in mindestens einem Mikrokanal ein Messsensor vorgesehen ist.

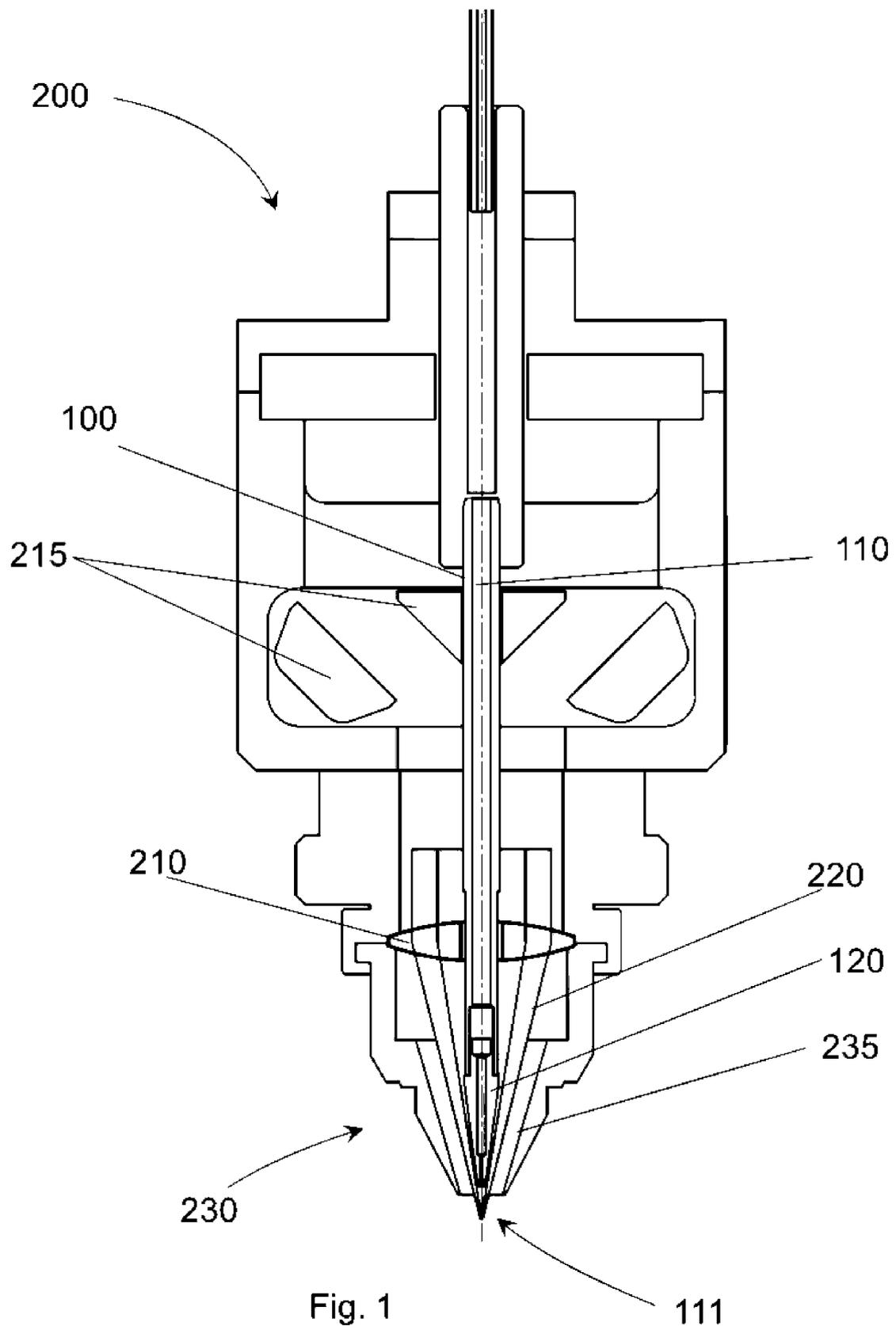
10. Werkstoffzuführungsvorrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in mindestens einem Mikrokanal eine Werkstoffbeeinflussungsvorrichtung vorgesehen ist.

11. Herstellverfahren für eine Werkstoffzuführungsvorrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Herstellverfahren aus der Verfahrensklasse der additiven Fertigungsverfahren stammt.

12. Herstellverfahren gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Herstellverfahren die Laser-Powder-Bed-Fusion-Technologie nutzt.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



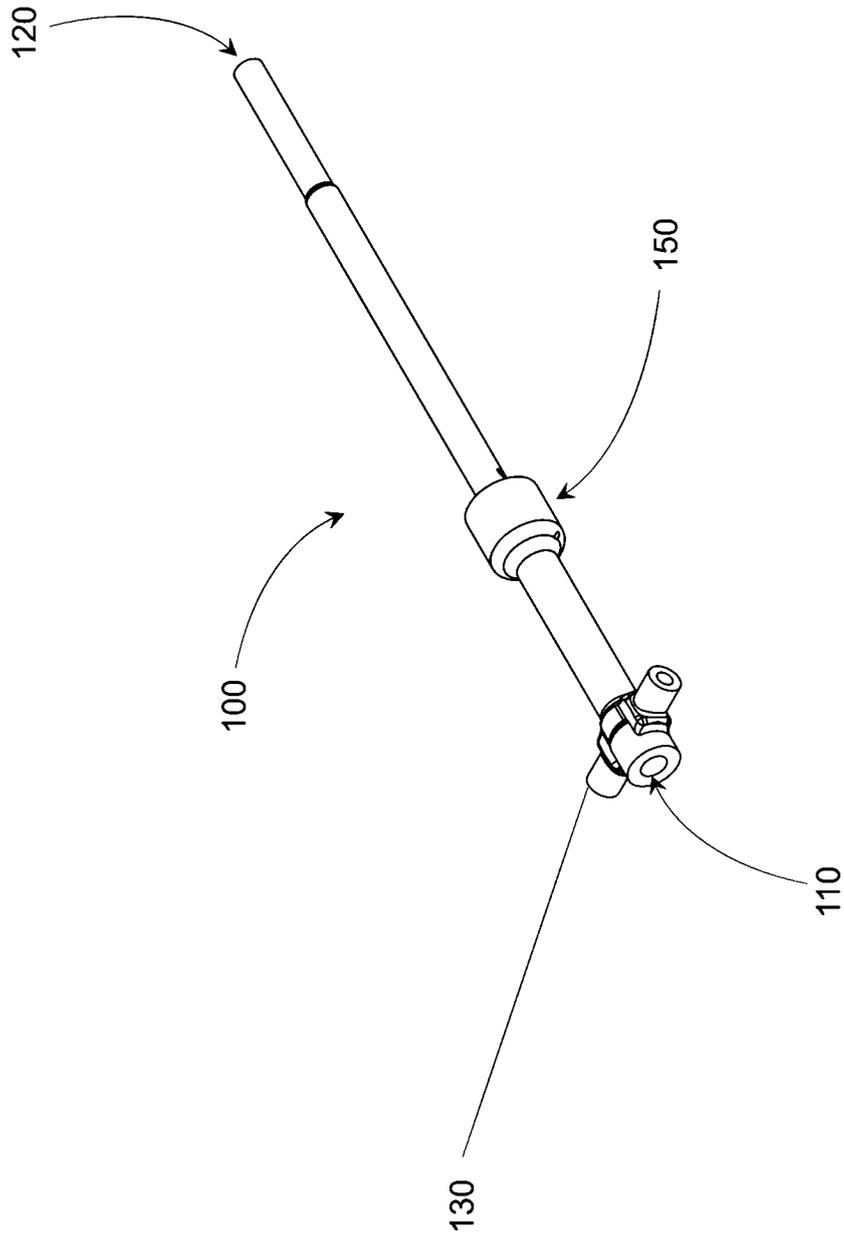


Fig. 2

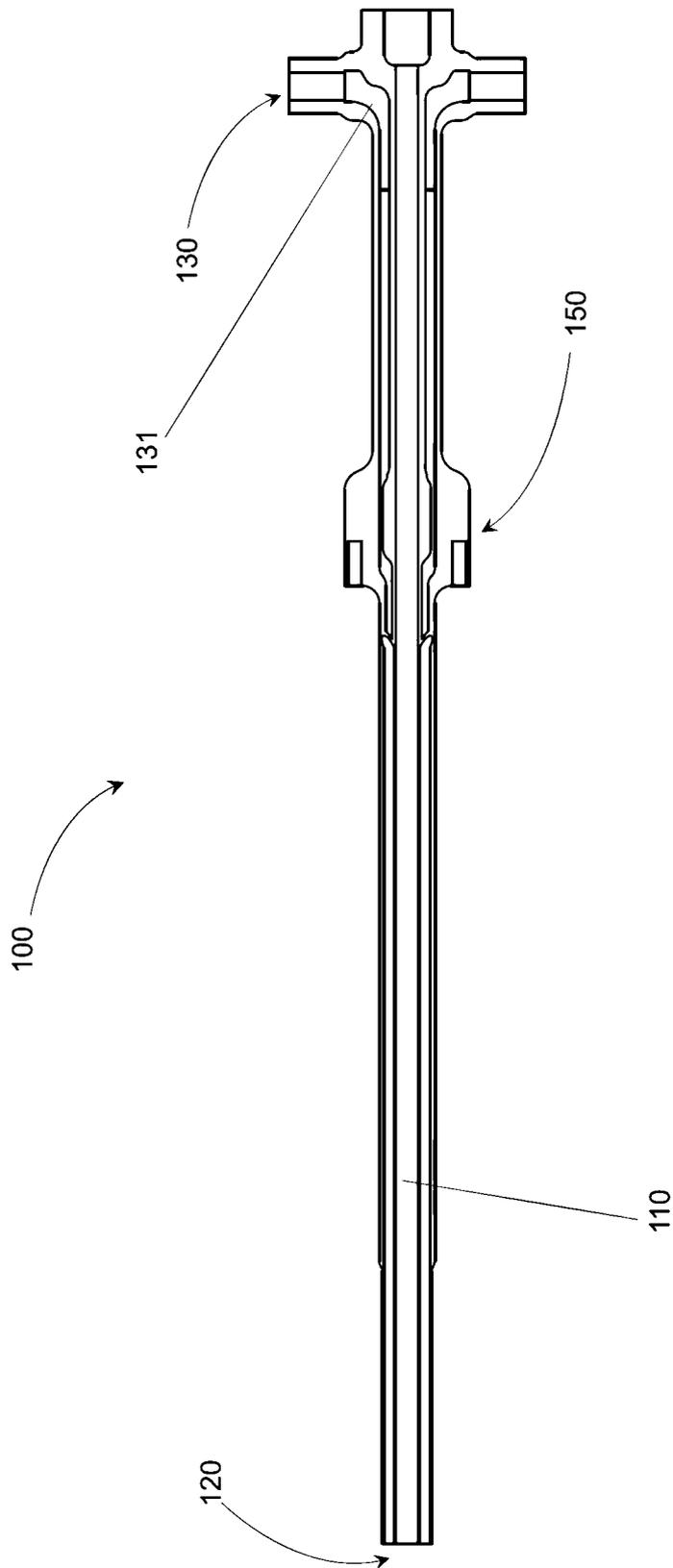


Fig. 3

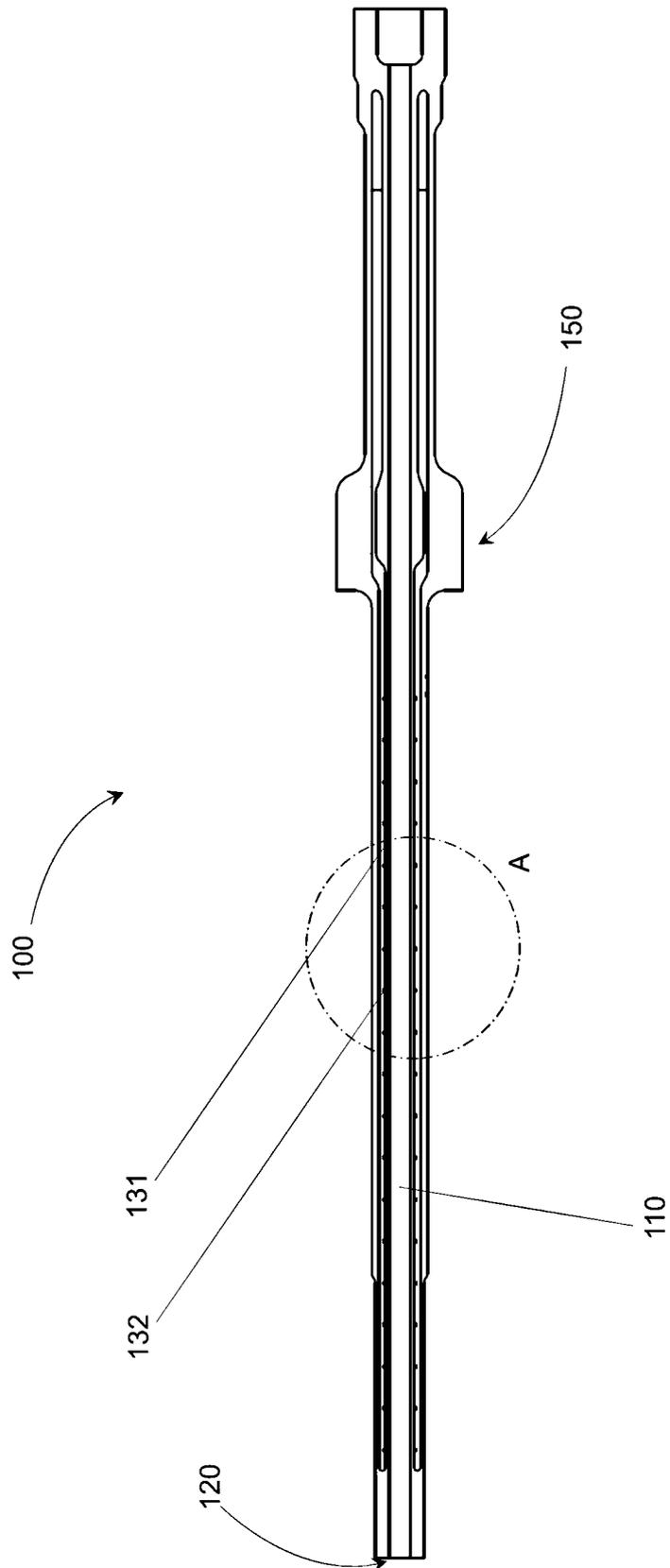


Fig. 4

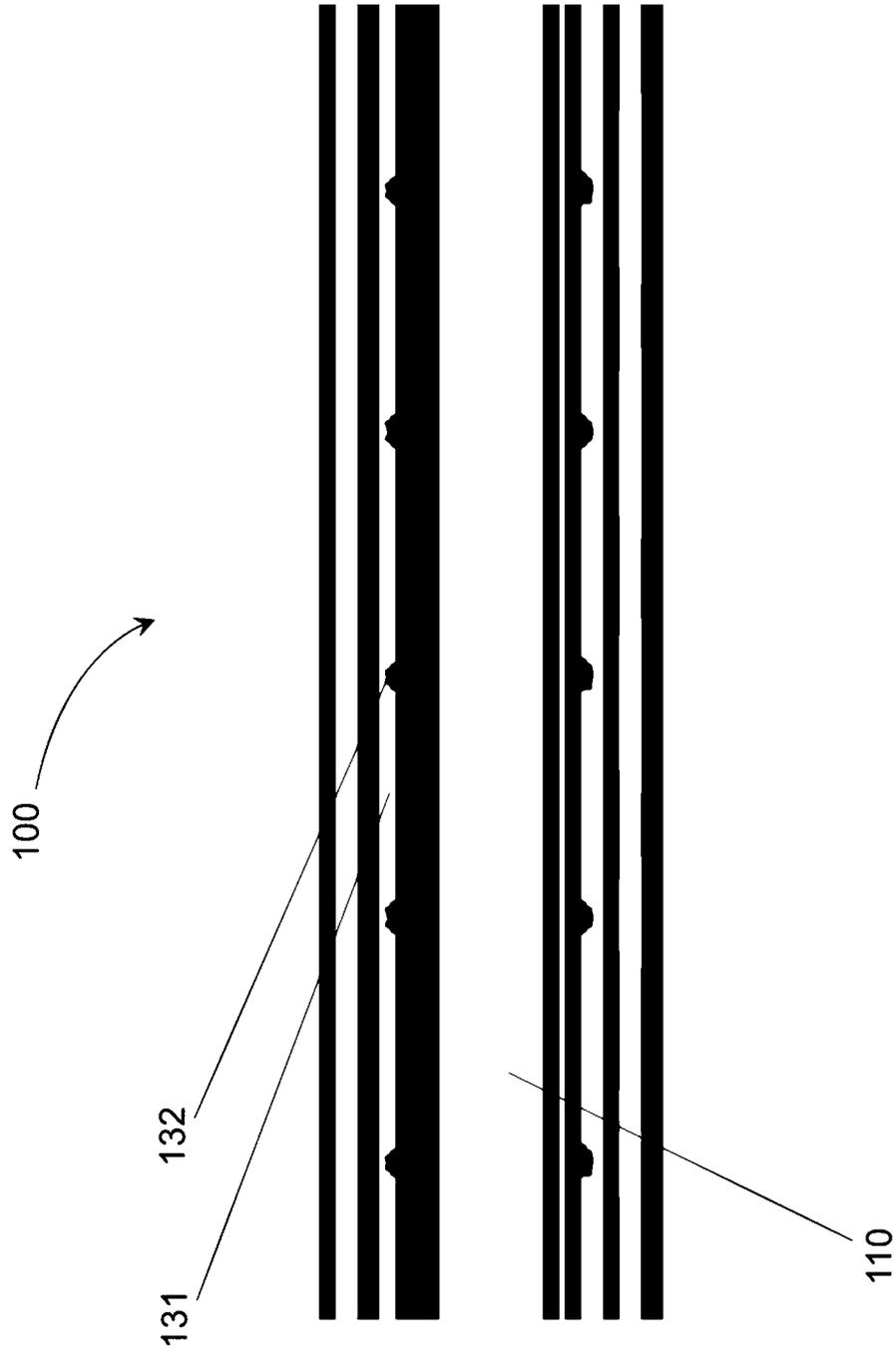


Fig. 5